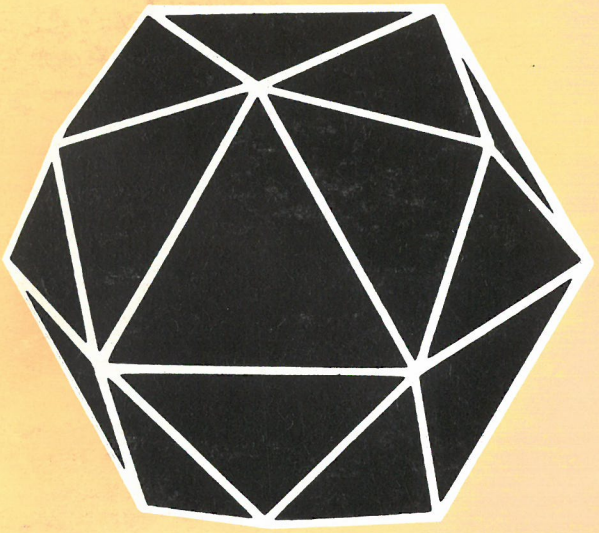
Quaderni di informatica

Rassegna di tecnologia ed applicazioni degli elaboratori elettronici

a cura del Centro Studi Informatica e Automazione Bull Italia



ARCHIVIO STORICO
ASSOCIAZIONE POZZO DI MIELE

FPDM-50
RQDI-141

44
Anno XVIII - Numero 2 - 1992

FPDM-50

Worldwide
Information
Systems

Bull

Quaderni di informatica

Rassegna di tecnologia ed applicazioni degli elaboratori elettronici
Anno XVIII - Numero 2 - 1992

Sommario

Al lettore *(La Redazione)*

Sfogliando i "Quaderni"
Una breve storia dell'informatica nel periodo 1974-1992, attraverso immagini tratte da articoli pubblicati sui "Quaderni di Informatica".

Evoluzione della architettura dei microprocessori: dai CISC ai RISC
Il microprocessore, cioè la CPU su un chip, è apparso circa vent'anni fa e rappresenta una delle più straordinarie storie della tecnologia moderna. La sua evoluzione continua senza soste, offrendo nuovi motivi di dibattito, come il confronto tra le architetture CISC e RISC.
FRANCO FILIPPAZZI, GIULIO OCCHINI

Il computer nell'analisi della affidabilità dei circuiti integrati complessi
La valutazione della affidabilità di chip altamente complessi richiede necessariamente l'impiego del computer. L'articolo descrive in termini accessibili come il problema possa essere affrontato e risolto.
PAOLA MAURI

Informatica e biometria per la sicurezza
Garantire l'accesso alle sole persone autorizzate è un problema di grande importanza per organizzazioni di ogni tipo. Tra le tecniche di identificazione personale, si va affermando quella basata sul riconoscimento delle caratteristiche geometriche tridimensionali della mano.
CARLO FORLANI

L'informatica per il territorio
La salvaguardia dell'ambiente e la corretta fruizione delle risorse planetarie si sono ormai imposti alla attenzione dei governi, oltre che dell'uomo della strada. Si tratta di una problematica estremamente complessa, in cui le tecnologie informatiche hanno certamente un ruolo fondamentale da svolgere.
RENZO MARIN

Direttore Responsabile
Franco Filippazzi

Comitato di Redazione
Antonio Cicu, Carlo Falcetti, Paolo Lupo, Mario Nobile, Giulio Occhini,

Segreteria di Redazione
Elena Pighin

Redazione
Bull Italia
Centro Studi Informatica e Automazione
Via G.M. Vida, 11 - 20127 Milano
Tel. (02) 6779-3783

Stampa
Caleidograf

Autorizzazione del Tribunale di Milano
n. 93 del 20 Marzo 1974

«Quaderni di Informatica» ospita articoli e contributi di varia provenienza. La responsabilità delle opinioni espresse rimane agli Autori.

La riproduzione di articoli della rivista, o di parte di essi, è consentita solo citando la fonte e l'autore.

AL LETTORE

"Panta rei" - diceva Eraclito - *Tutto scorre. Non ti puoi bagnare due volte nella stessa acqua del fiume"*. Anche senza scomodare l'antico filosofo greco possiamo tutti concordare sul fatto che il cambiamento è connaturato con l'esistenza. A tale principio non si sottrae "Quaderni di Informatica". Con questo numero, infatti, la rivista conclude un ciclo durato quasi vent'anni.

Quando nel 1974 demmo vita ai "Quaderni" ci proponevamo di realizzare una rivista che facesse conoscere le tecnologie e le applicazioni informatiche a un ampio pubblico di lettori: manager, professionisti, studenti. Una rivista, dunque, di divulgazione, accessibile al non specialista, ma tuttavia rigorosa.

Non sta a noi giudicare se l'obiettivo sia stato conseguito, ma possiamo dire che, durante tutti questi anni, abbiamo ricevuto un'ampia serie di apprezzamenti.

La rivista ha documentato, attraverso articoli di esperti, il progresso del settore. Un progresso davvero straordinario; basti pensare ai fenomeni del downsizing e degli standard, che hanno letteralmente rivoluzionato l'informatica.

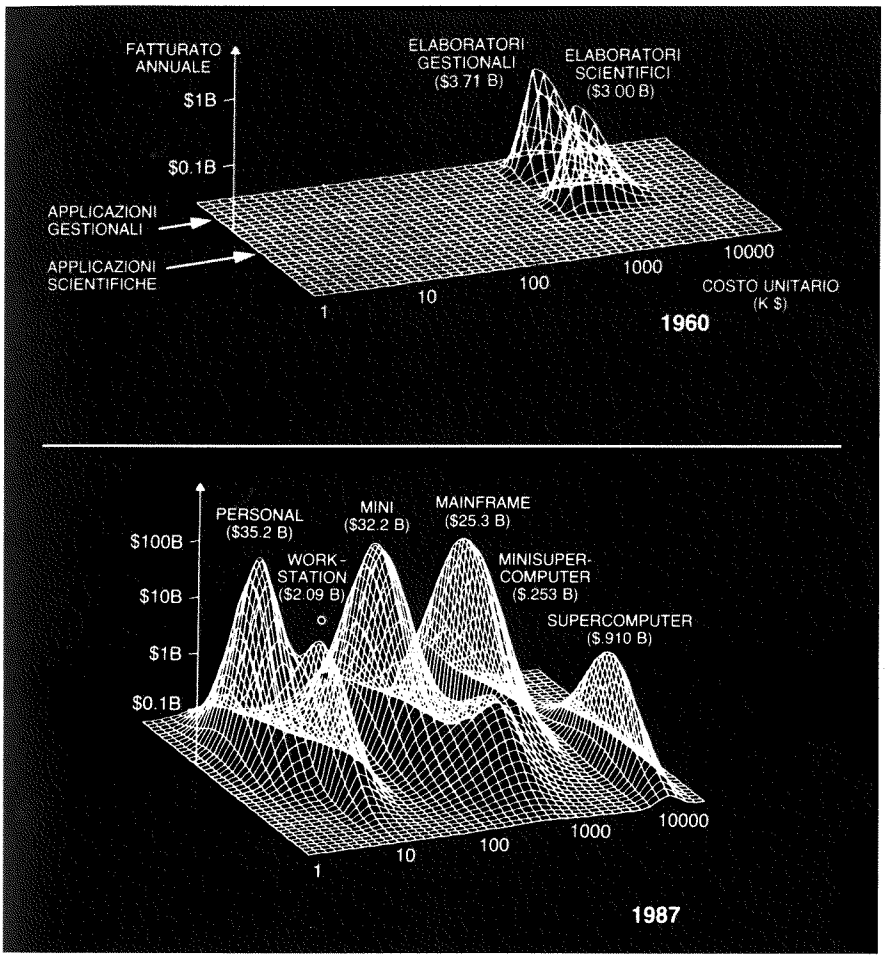
In questo quadro di mutamento travolgente è cambiato anche il contesto culturale in cui la rivista era nata. In particolare, il panorama editoriale di allora era assai meno ricco e articolato di quanto non sia adesso.

Questa ed altre riflessioni sulla rivista e sulla sua formula ci hanno condotto a ritenere che fosse arrivato il momento di concludere un ciclo e di aprirne un altro. Su quest'ultima possibilità stiamo, al momento, vagliando delle ipotesi da concretizzare già nel '93. Desideriamo, comunque, dire ai lettori che ci hanno sin qui seguito che questo non vuole essere un addio, ma piuttosto un arrivederci.

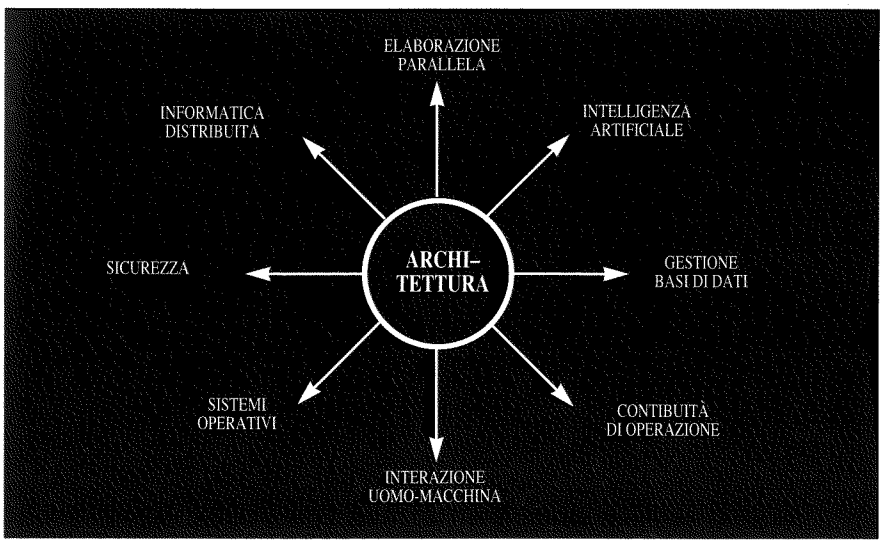
IL DIRETTORE

Sfogliando i "Quaderni"

In queste pagine abbiamo raccolto alcune immagini tratte da articoli pubblicati sulla rivista, come traccia per un breve viaggio nel mondo dell'informatica.

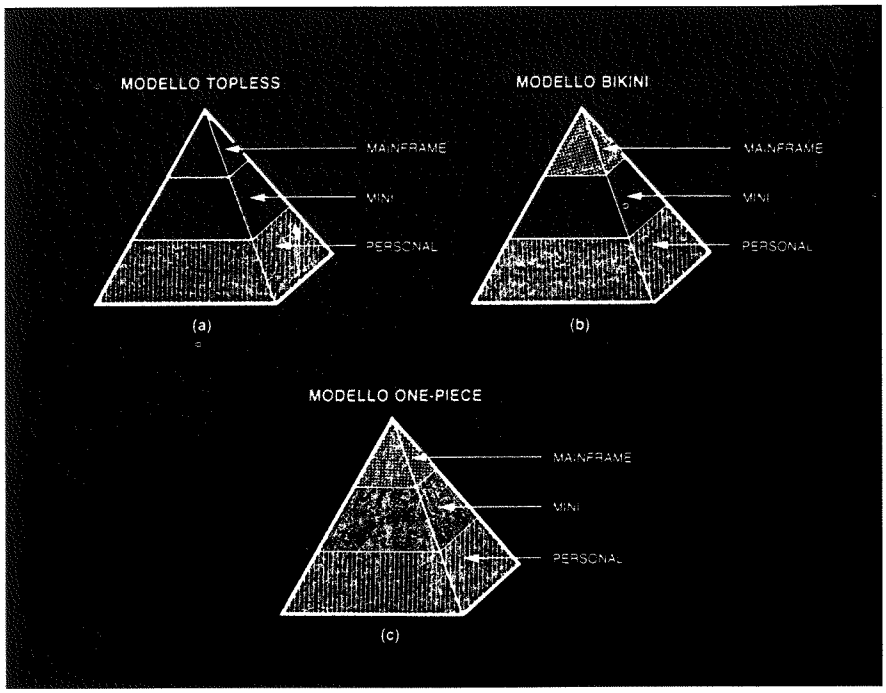


Nel giro di pochi decenni lo scenario dei prodotti informatici è cambiato radicalmente. L'elaboratore, nato per eseguire grandi quantità di calcoli in ambiente scientifico, si è via via differenziato in varie classi, ciascuna orientata a particolari tipi di impiego. La figura mostra come negli anni '60 bastasse distinguere tra computer per uso scientifico o gestionale e come successivamente, con l'avvento del mini e del personal, il quadro si sia arricchito, offrendo una gamma molto più differenziata di prodotti.

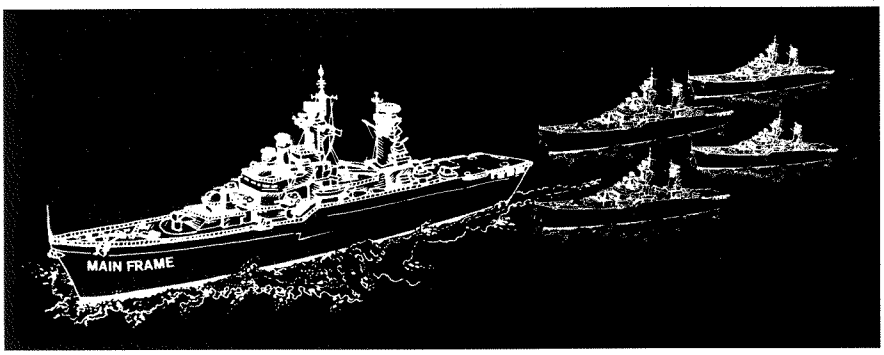


L'architettura dell'elaboratore è andata man mano articolandosi in una molteplicità di aspetti, ognuno dei quali costituisce ormai un capitolo a sè. Si possono citare la interazione uomo-macchina, la sicurezza di funzionamento, il parallelismo operativo, la distribuzione delle risorse informatiche, la capacità di "ragionamento", la standardizzazione del sistema operativo.

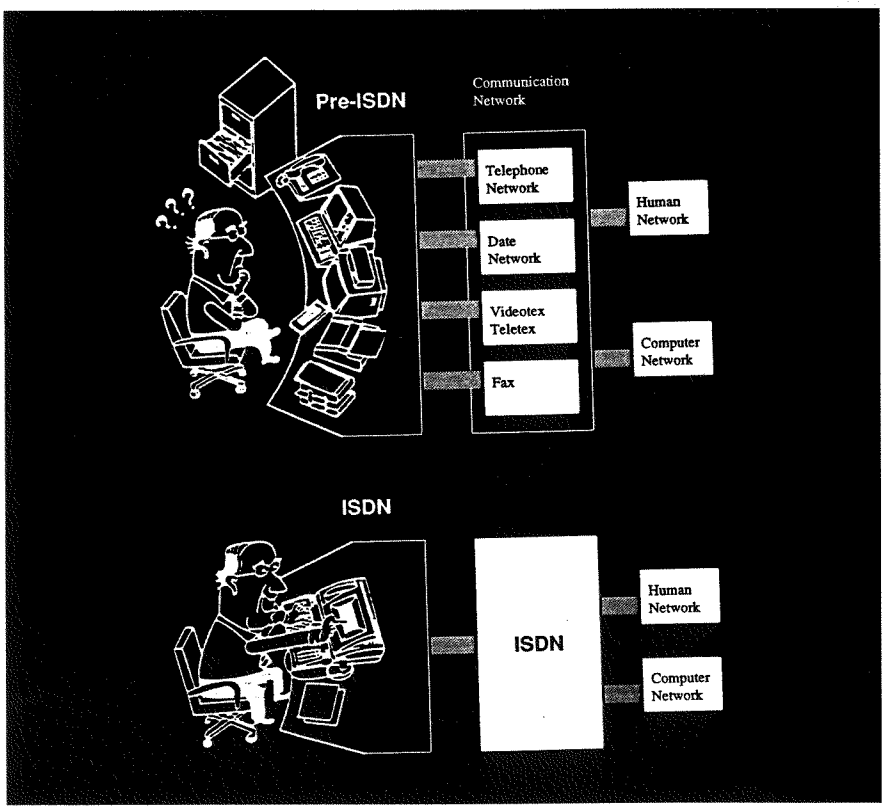
Col passare degli anni, i sistemi di elaborazione si sono andati strutturando su tre livelli: i grandi elaboratori (mainframe), i minicomputer e gli strumenti di informatica individuale (personal e workstation). Nasce quindi il problema di coordinare l'insieme di queste macchine, collegandole tra loro attraverso linee di comunicazione. Si sviluppano così le architetture di informatica distribuita, nell'ambito delle quali si distinguono soluzioni di tipo gerarchico rispetto a quelle di tipo funzionale ("client-server"). In questo ambito si individuano attualmente diverse tendenze che attribuiscono pesi e ruoli diversi alle varie categorie di macchine (figura accanto).

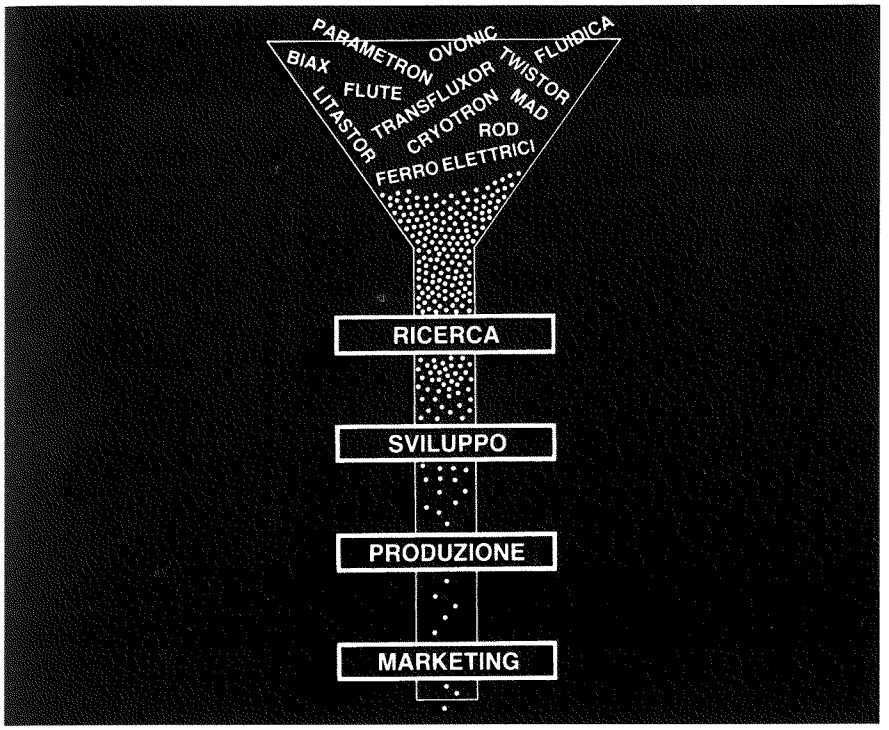


Alla luce di queste tendenze, ci si può chiedere quale possa essere il futuro del mainframe, ossia se ci sarà ancora bisogno di una nave ammiraglia che guidi la flotta informatica. Anche se generalmente si propende per il sì, non c'è ancora una risposta definitiva a questo interrogativo.

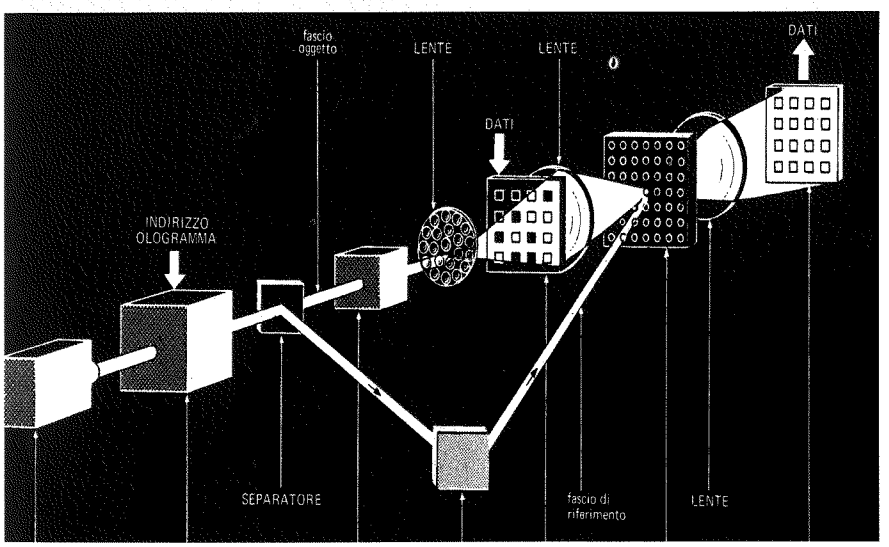


Elaborazione e trasmissione delle informazioni sono due aspetti complementari dei sistemi distribuiti. Un problema di fondo è quello di integrare le varie reti che si sono via via costituite per fini specifici (telefonia, trasmissione dati, fax ecc) in una architettura omogenea che consenta di accedere attraverso un'unica interfaccia ad una pluralità di servizi informativi. E' questo l'obiettivo delle reti cosiddette ISDN.

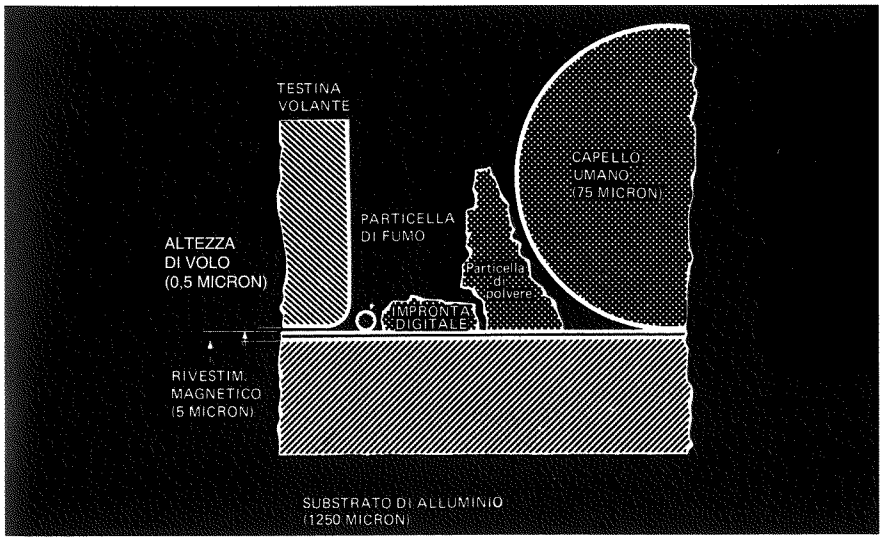




Il computer ha, come noto, due facce: l'hardware e il software. L'hardware ha registrato un tasso di innovazione che non ha eguali in nessun altro settore tecnologico. E' un campo in cui si è scatenata l'inventiva di ricercatori e tecnici. Si può, infatti, fare un lungo elenco di dispositivi proposti, basati sui più disparati principi e materiali. Pochi però hanno superato il filtro a più livelli costituito dalla fattibilità di laboratorio, dalla producibilità e dalla accettazione sul mercato.

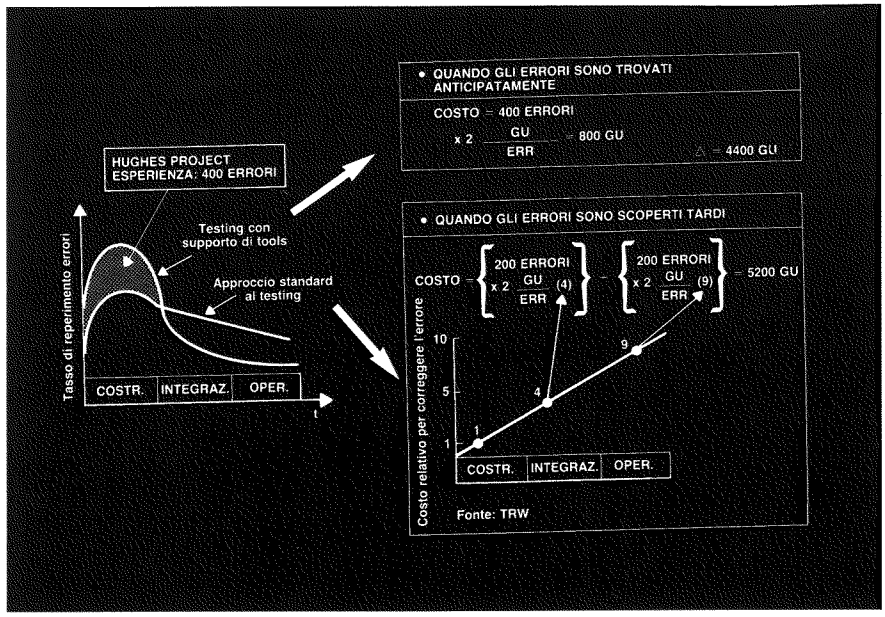


Per esempio, un sogno da lungo tempo accarezzato dai ricercatori ma non ancora diventato realtà è una memoria ottica di grandissima capacità in cui l'accesso avvenga senza alcun movimento meccanico. La figura mostra un modello concettuale di una memoria di questo tipo, basato sull'olografia.

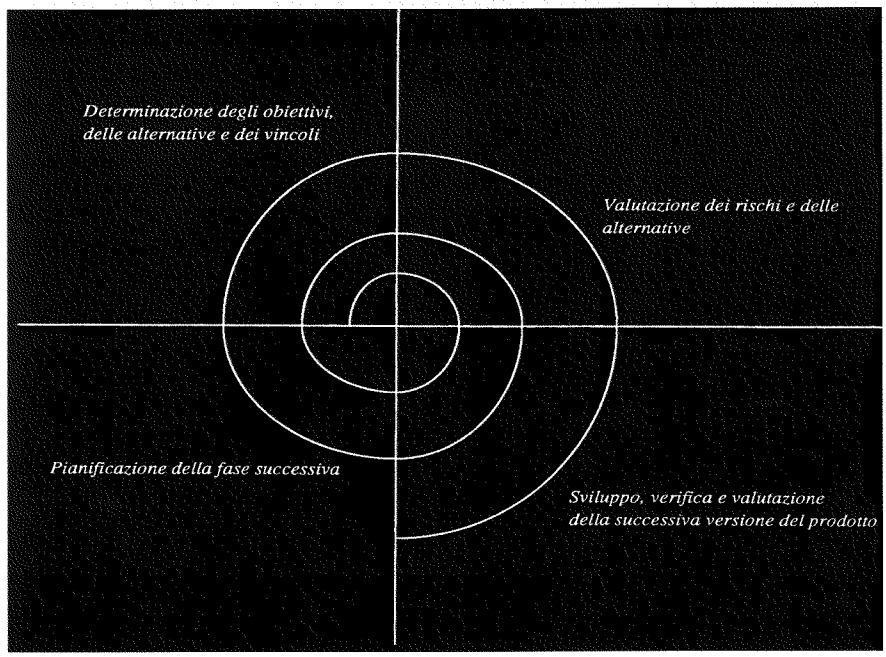


Tra le ragioni che hanno inibito l'ingresso di nuove tecnologie, una é stata certamente la capacità delle tecnologie esistenti di perfezionarsi in continuazione. Un esempio tipico é costituito dalla registrazione magnetica su supporti in movimento, quali in particolare i dischi. La densità di memorizzazione é cresciuta senza sosta col passare degli anni, superando via via limiti di fattibilità che sembravano invalicabili. Basti pensare che l'altezza di "volo" di una testina di registrazione sulla superficie del disco é scesa ormai a valori inferiori a quello di un minuscolo granello di polvere (figura accanto).

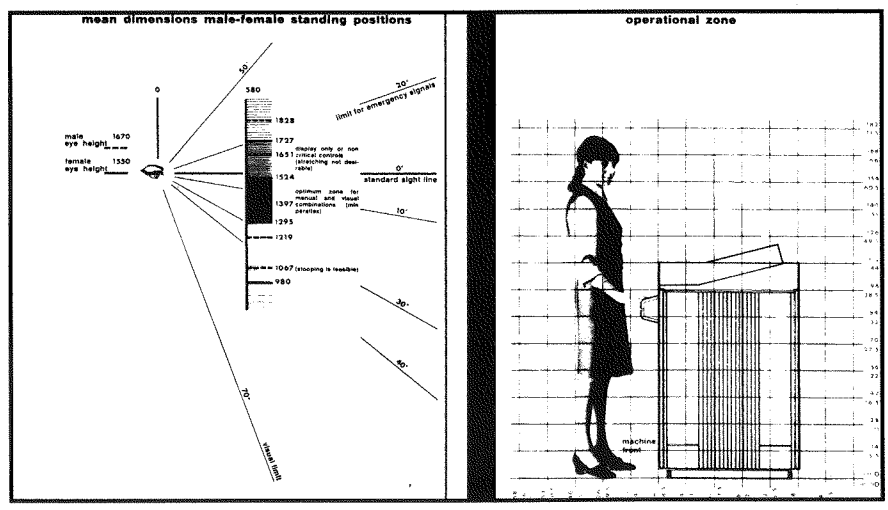
Anche le tecnologie di software hanno registrato un progresso significativo, se pure non così straordinario come quello dell'hardware. Il fatto è che il software è un prodotto atipico; esso è, infatti, di natura intellettuale, con un costo di replicazione trascurabile. Inoltre, non se ne può verificare la correttezza in modo esaustivo. Un obiettivo di fondo della ingegneria del software è di anticipare al possibile l'individuazione degli errori per ridurne i costi di correzione. Infatti, come mostra la figura, correggere un errore in fase di esercizio costa molto di più che non durante il progetto.

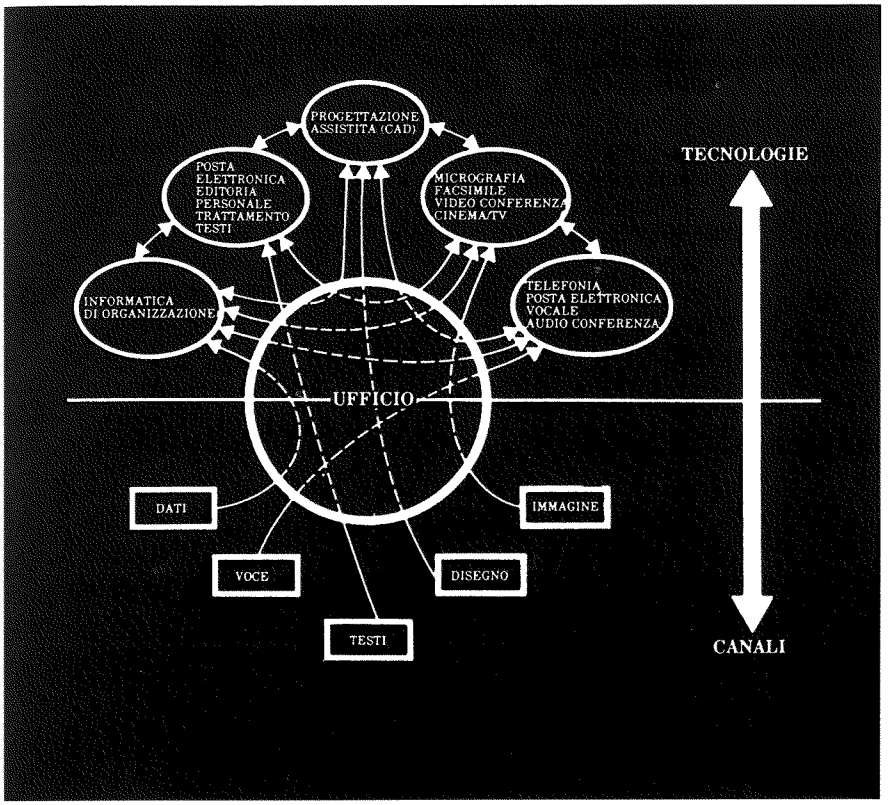


Un prodotto software tende oggi ad essere sviluppato secondo un processo iterativo, che ripercorre le stesse fasi (i quattro quadranti della figura) in tempi successivi, approssimando via via la soluzione ottimale. Si tratta di un approccio metologico analogo a quello della cosidetta "progettazione simultanea" (concurrent engineering), che sta entrando nella pratica di progettazione dei prodotti più diversi.

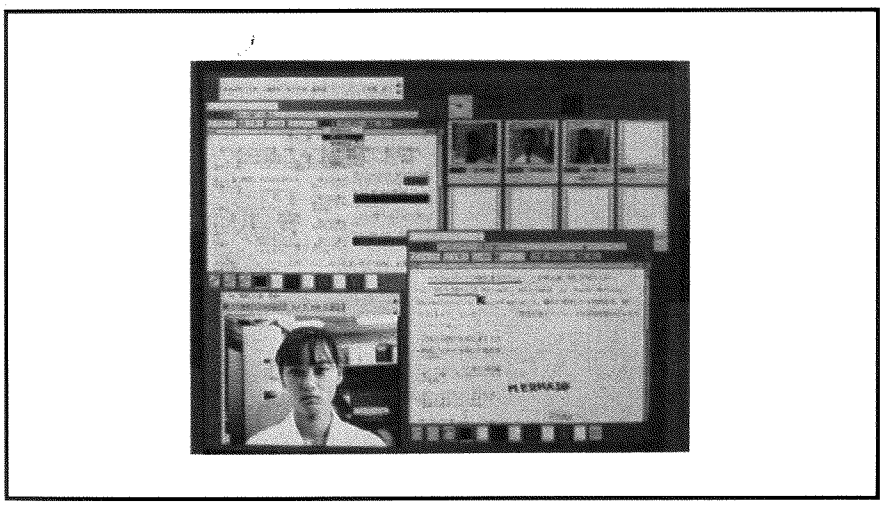


Un aspetto poco pubblicizzato della progettazione dei computer è quello del design, che si occupa della ergonomia e dell'appearance delle macchine. I "Quaderni" si sono occupati a più riprese anche di questo tema, che offre ancora ampi spazi alla creatività.





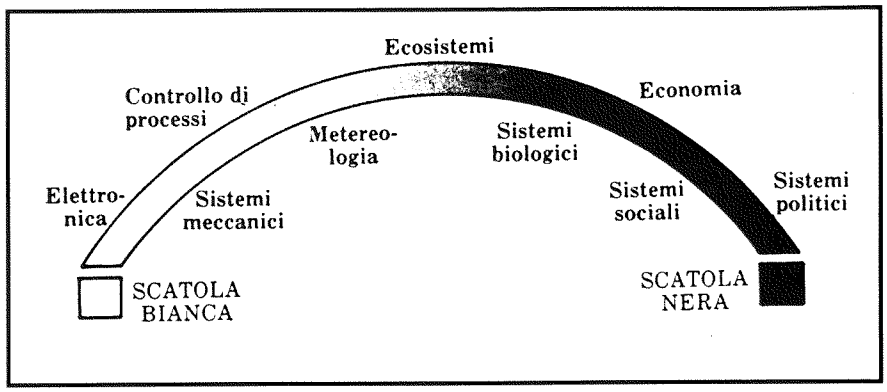
L'avvento del personal computer, all'inizio degli anni '80, apre una nuova era nell'utilizzo dell'informatica. Da oggetto per pochi specialisti, esso diventa strumento di uso comune, presente in ogni ambiente di lavoro. Ciò comporta, in particolare, che l'utente possa interagire con la macchina non solo nel modo tradizionale, ma, anche mediante la voce e le immagini. Si apre così un ulteriore nuovo capitolo: quello dei sistemi multimediali.



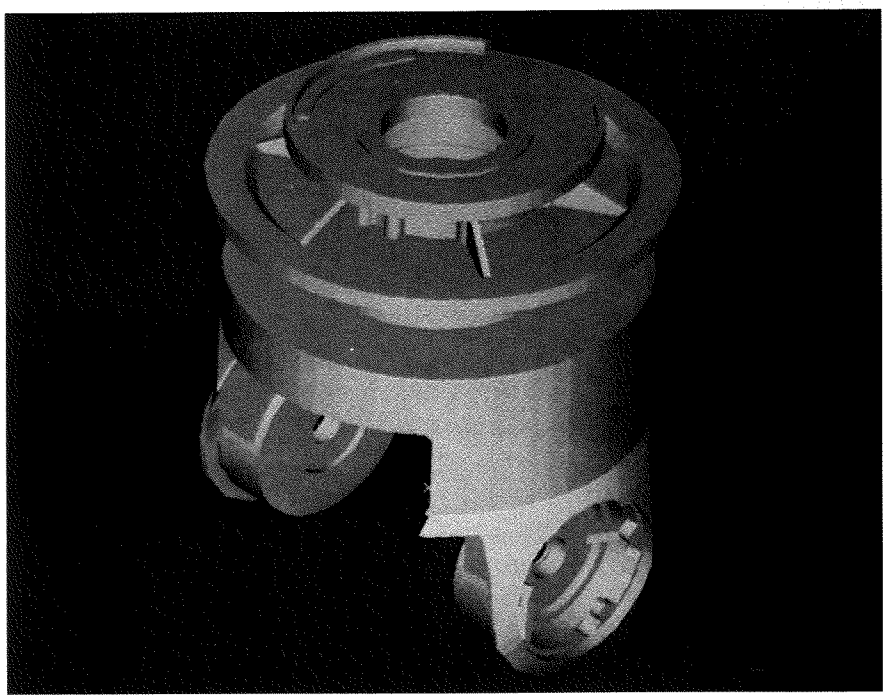
"Groupware" è un neologismo che sta ad indicare un nuovo modo di lavorare reso possibile dalle tecnologie informatiche. Usando stazioni di lavoro multimediali collegate in rete, più persone che lavorano sullo stesso problema possono interagire tra loro, scambiandosi in tempo reale informazioni e documenti, dialogando in televideoconferenza, come se fossero nella stessa stanza.

Si apre così una nuova fase dell'era informatica in cui il computer si propone come intermediario sia nelle relazioni tra le persone che nell'interazione delle persone con gli oggetti. È il cosidetto "computer mediated work". Viene pertanto superata la ricorrente contrapposizione tra l'uomo e la macchina, riproposta in modo paradossale nella vignetta.

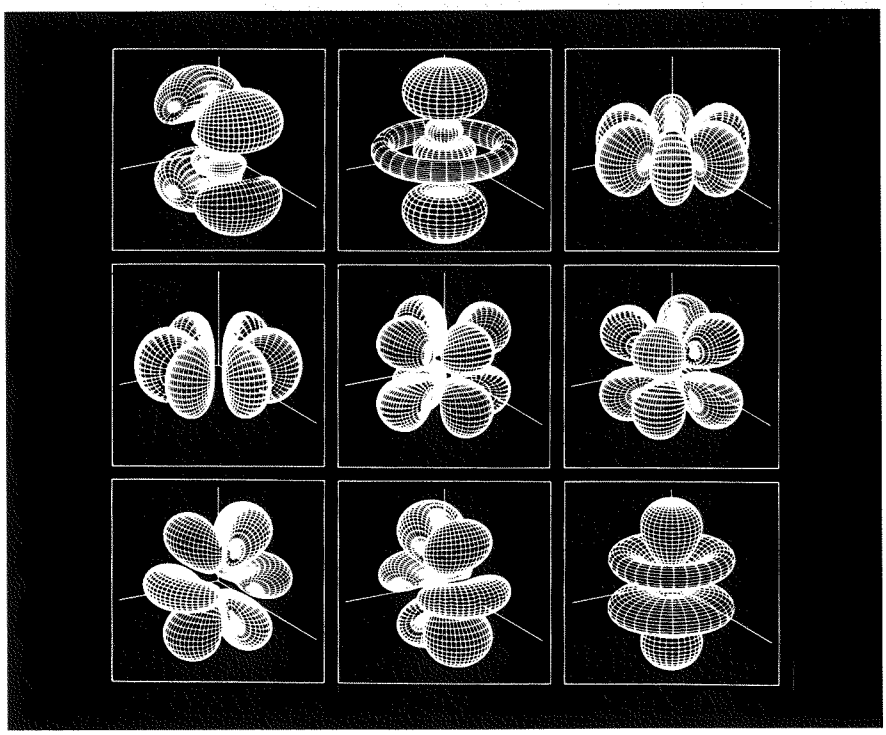
Alla base della evoluzione prima accennata c'è la capacità del computer di simulare fenomeni e situazioni complesse tramite modelli. Come strumento di simulazione, il computer può essere usato utilmente in un vasto spettro di problemi, secondo quanto indicato schematicamente in figura. Ad un estremo i modelli sono ben definiti; mentre man mano che ci si sposta verso destra essi diventano sempre più delle "scatole nere".

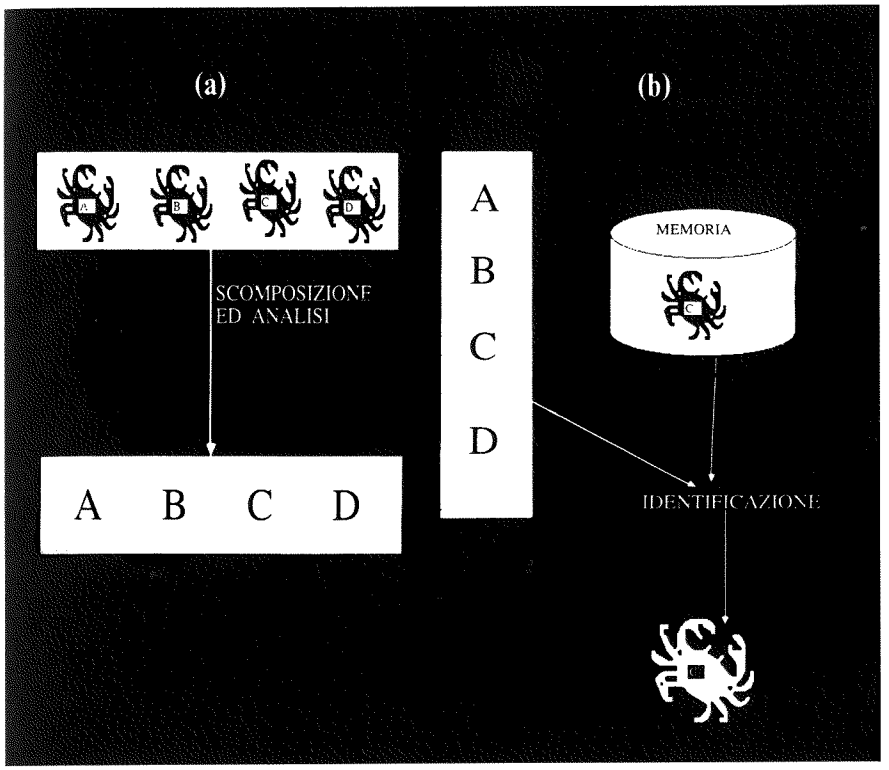


Una applicazione ormai usuale delle capacità di simulazione del computer è quella nota come CAD (Computer Aided Design). Il computer consente di progettare un oggetto (ad esempio un pezzo meccanico, come in figura) e di verificarne le caratteristiche senza doverlo costruire fisicamente, con ovvi vantaggi di costo e di tempo.

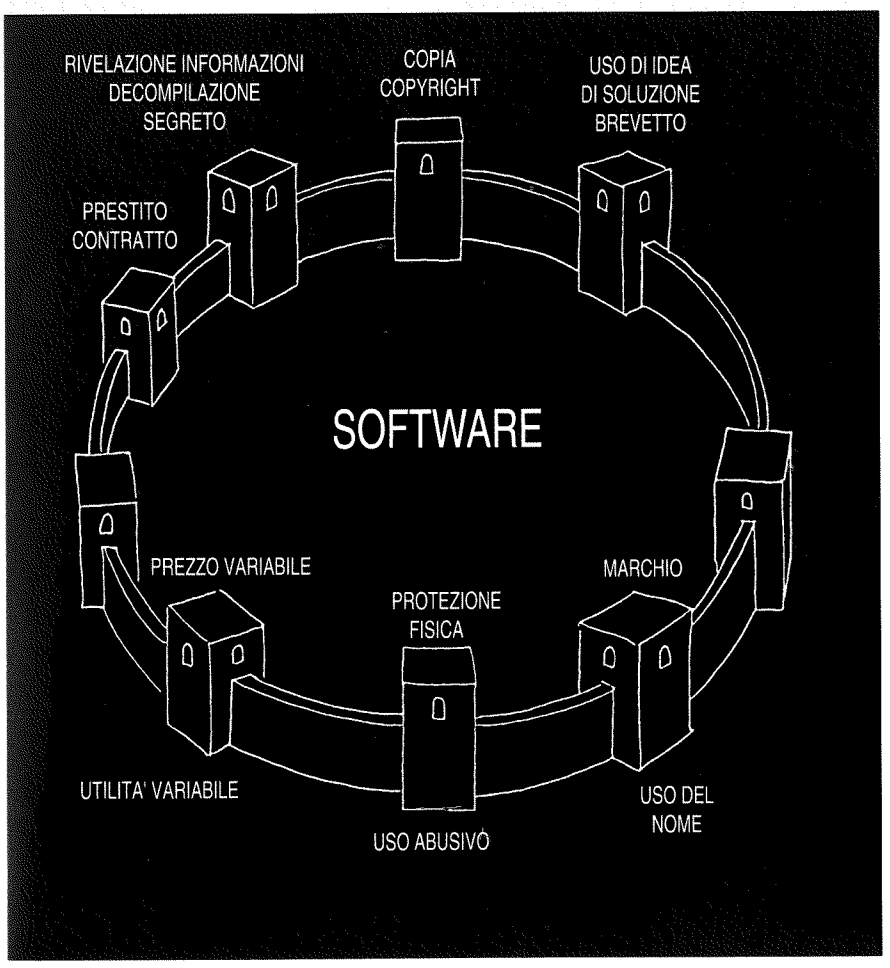


La simulazione può estendersi ad entità molto meno tangibili di quella della figura precedente, arrivando, ad esempio, al livello della molecola. Si possono così creare nuovi composti aventi prefissate caratteristiche chimico-fisiche senza passare attraverso lunghe e costose ricerche di laboratorio. È questo il campo di una nuova disciplina, la cosidetta "chimica computazionale".



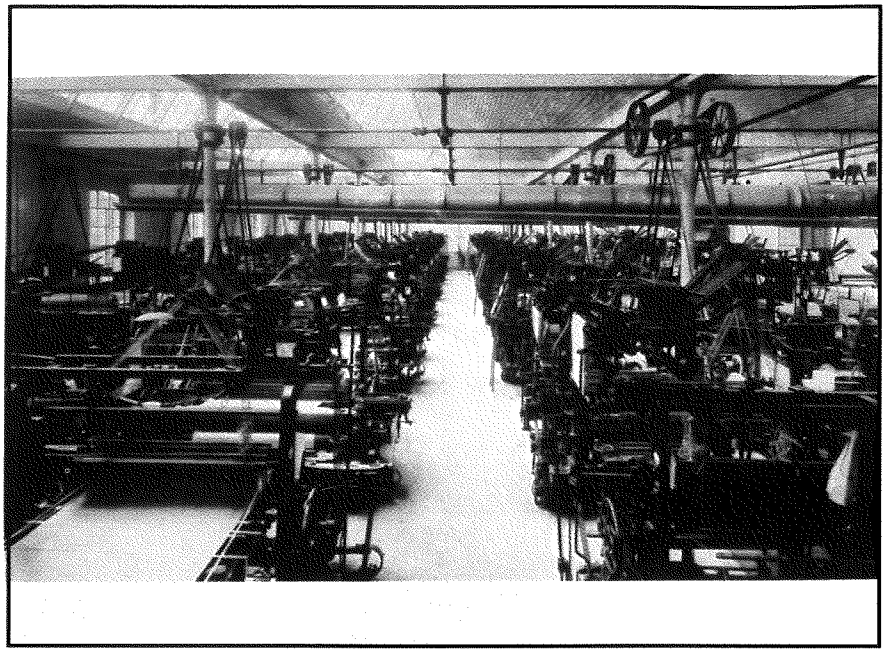


I virus dei computer hanno goduto in questi ultimi anni di popolarità anche sulla stampa non specializzata. In effetti, è solo uno degli aspetti di un problema molto più vasto che riguarda la sicurezza delle informazioni trattate mediante i computer e la loro protezione da manipolazioni o alterazioni dolose. La sicurezza informatica è un tema sempre più importante e i "Quaderni" se ne sono occupati a più riprese.



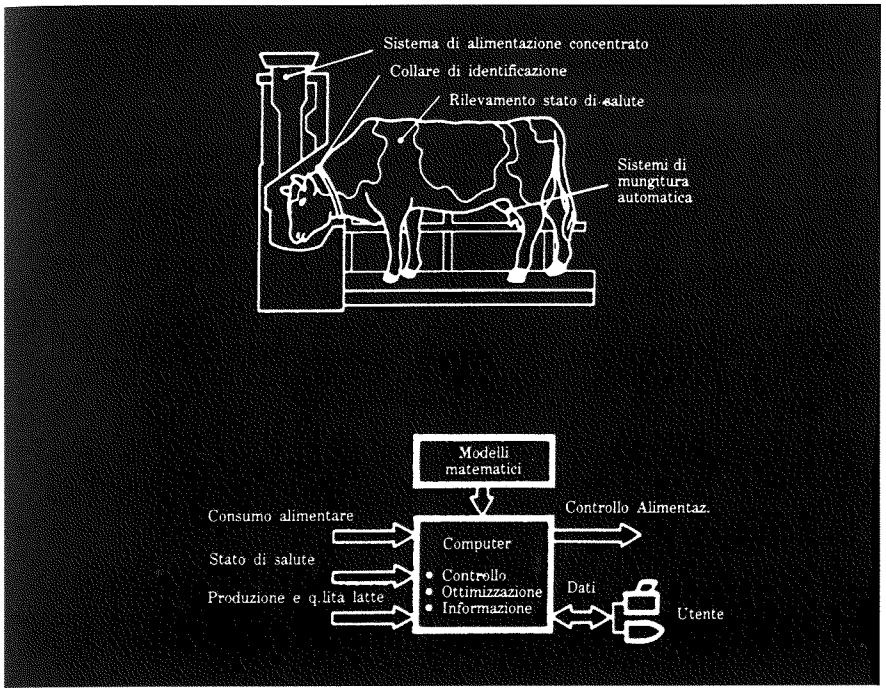
Un tema che si collega, sotto certi aspetti, alla sicurezza è la protezione giuridica del software. La riproduzione illecita di programmi, la cosidetta "pirateria informatica", è argomento di rilevante interesse economico. Le difficoltà giuridiche che si incontrano in questo campo derivano dalla natura atipica del prodotto software, che non consente di applicare le normali procedure brevettuali. Si deve pertanto ricorrere a strumenti usati per la protezione delle opere dell'ingegno, quale il diritto d'autore (copyright).

L'informatica è oggi lo strumento per eccellenza per l'innovazione delle aziende. L'introduzione del computer significa cambiare schemi organizzativi, modalità di lavoro, prassi e mentalità consolidati da anni. "Quaderni di informatica" ha costantemente trattato la dimensione economica del fenomeno informatico, sia misurando il livello di penetrazione del computer nei vari settori di attività, che analizzando gli effetti indotti. La figura qui riprodotta richiama, a titolo di esempio, una ricerca condotta sul settore tessile e abbigliamento, i cui risultati sono stati diffusi attraverso la rivista.

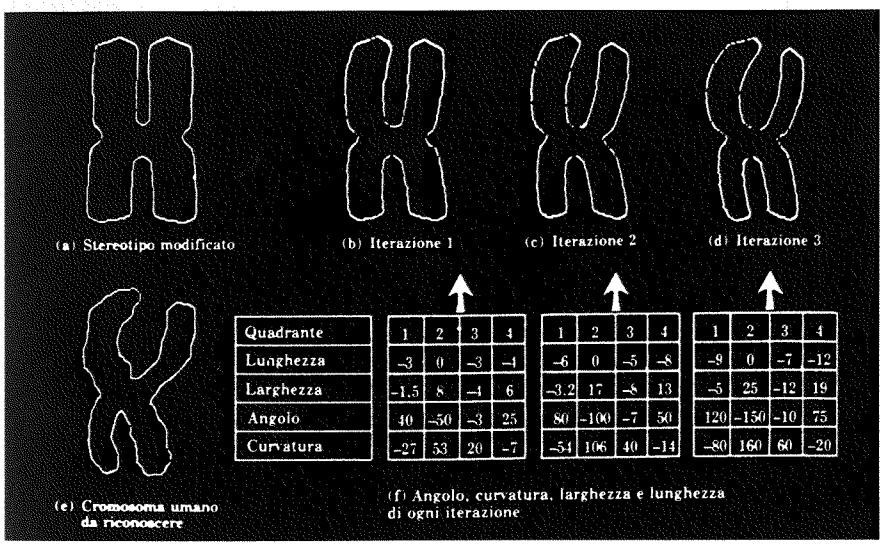


Una grande area di attività in cui l'informatica ha consentito di compiere grandi passi avanti è quella dei "servizi". Gli effetti sono molteplici e differenziati: riduzione di costi a parità di servizio fornito, miglioramento della qualità del servizio, offerta di servizi completamente nuovi. La tabella a fianco presenta una sintesi di questi impatti che, come si vede, riguardano le aree più diverse, anche molto lontane tra loro, dalla istruzione ai trasporti, dalla distribuzione al turismo, dalla banca alla sanità.

SERVIZIO	IMPATTO DELLA TECNOLOGIA INFORMATICA		
	MINOR COSTO	MIGLIORE QUALITA'	INOVAZIONE
Trasporto corrispondenza	Trattamento automatico indirizzi Smistamento automatico Efficienza gestionale	EDI/Posta elettronica tra aziende	Posta elettronica tra cittadini
Trasporto persone	Controllo informatico della rete di trasporto Efficienza gestionale	Servizi di audio/video teleconferenza come alternativa ai viaggi di lavoro	
Informazione	Informatica nella tipografia e nella editoria Efficienza gestionale	Banche dati	Nuovi servizi telematici (videotext, teletext, ...) Giornale/rivista/ libro elettronico
Educazione	Efficienza gestionale	Computer come strumento "problem solving"	Intelligent computer aided learning (ICAL)
Anagrafe Previdenza Servizi pubblici in generale	Efficienza gestionale Riduzione della massa cartacea dagli archivi	Servizi di sportello in tempo reale nelle sedi	Self-service in centri polifunzionali cui fanno capo più Amministrazioni
Sanità	Efficienza gestionale	Strumenti di diagnosi con computer	Telemedicina
Banca	Efficienza gestionale	Servizi di sportello in tempo reale circolarità dei conti	Self-service Monetica
Distribuzione	Efficienza gestionale	Razionalizzazione logistica	POS (Point of Sale)
Turismo	Efficienza gestionale della agenzia	Banche dati dell'offerta	Nuovi servizi all'agenzia
Assicurazioni	Efficienza gestionale	Banche dati dell'offerta	Self-service distribuito

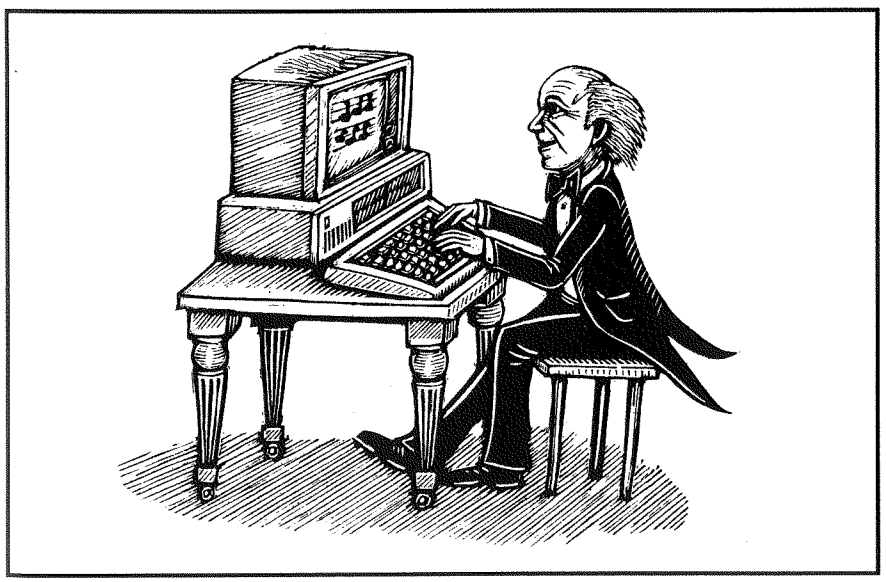


Oltre che nell'industria e nei servizi, l'informatica è entrata anche nelle attività cosidette primarie, come l'agricoltura. Esiste oggi una nuova disciplina, l'agronica, che si occupa proprio della applicazione del computer nei vari aspetti delle attività agricole, dalle ottimizzazioni nel settore zootecnico (vedi figura accanto) alla rotazione dei coltivi, dall'automazione dell'irrigazione al corretto dosaggio di fertilizzanti e antiparassitari.



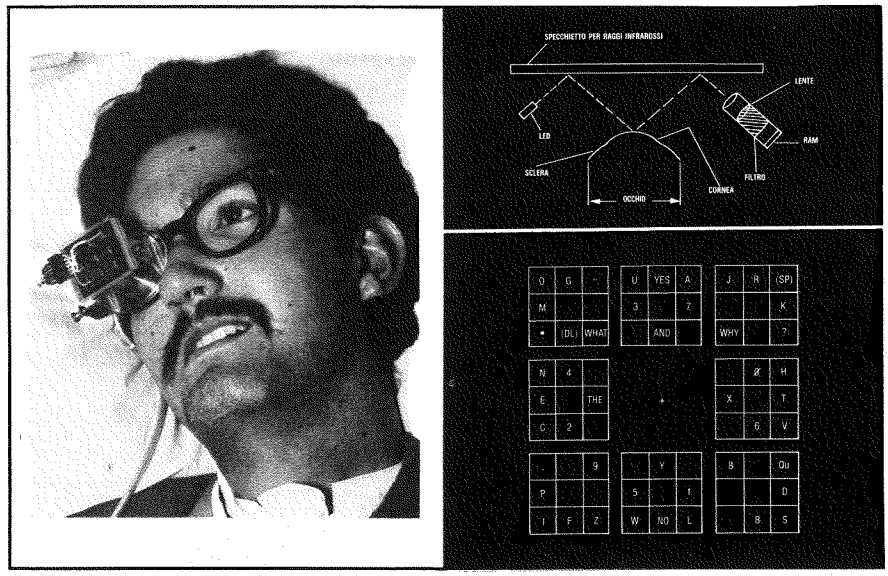
Quadrante	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Lunghezza	-3	0	-3	-4	-6	0	-5	-8	-9	0	-7	-12
Larghezza	-1.5	8	-4	6	-3.2	17	-8	13	-5	25	-12	19
Angolo	40	-50	-3	25	80	-100	-7	50	120	-150	-10	75
Curvatura	-27	53	20	-7	-54	106	40	-14	-80	160	60	-20

Gran parte delle applicazioni informatiche oggi in atto si basano su tecnologie e metodi consolidati. Esistono però sviluppi di frontiera che mirano ad emulare capacità tipicamente umane. È questo il campo della Intelligenza Artificiale, cui la rivista ha dedicato ampio spazio. Uno dei temi della IA è il riconoscimento delle forme (pattern recognition), di cui la figura accanto offre un esempio (riconoscimento automatico dei cromosoni).

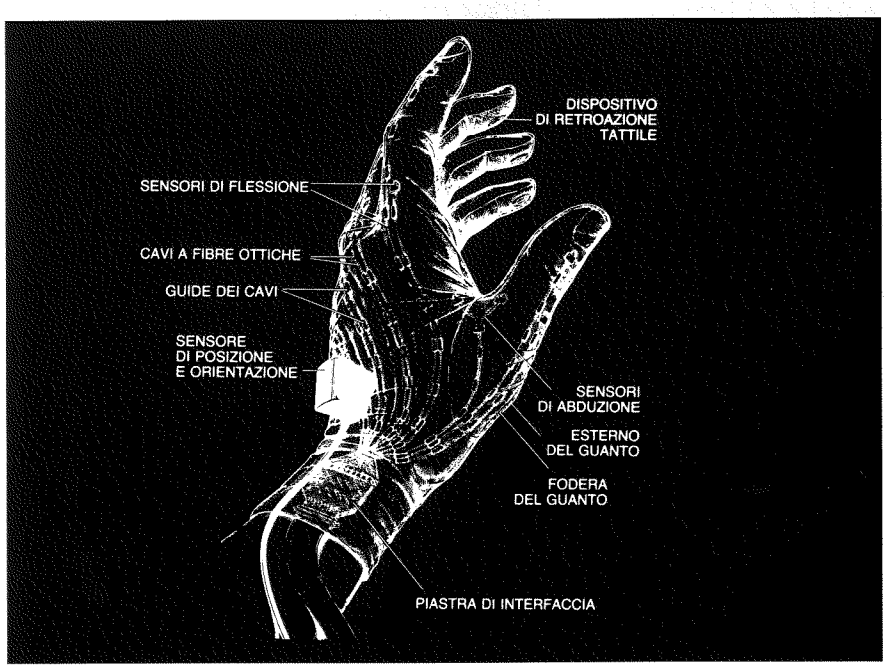


Il computer trova applicazione in tutte le attività umane, incluse quelle artistiche. Si va dall'analisi di testi letterari per ricerche filologiche allo studio di spartiti musicali per l'identificazione degli stili di composizione.

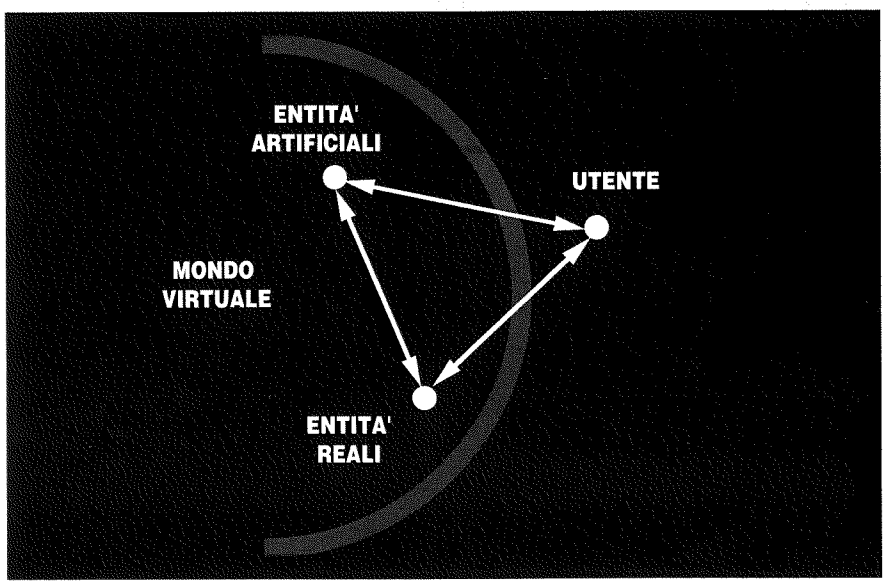
L'informatica riveste una particolare valenza sociale come ausilio all'handicap. Certe soluzioni sarebbero letteralmente impensabili senza il computer e le tecnologie informatiche. Un esempio è il sistema, qui a fianco richiamato, che consente ad una persona totalmente immobilizzata di comunicare attraverso il movimento degli occhi.



L'avvento della informatica di massa ha focalizzato l'importanza di un tema in passato trascurato e cioè come rendere facile l'interazione dell'uomo col computer. A questo obiettivo si tende, in particolare, attraverso programmi interattivi che fanno un uso sistematico della rappresentazione iconica. Ma anche introducendo dispositivi di nuova concezione, come il "guanto elettronico" qui raffigurato, che consente di "maneggiare" oggetti rappresentati sullo schermo.

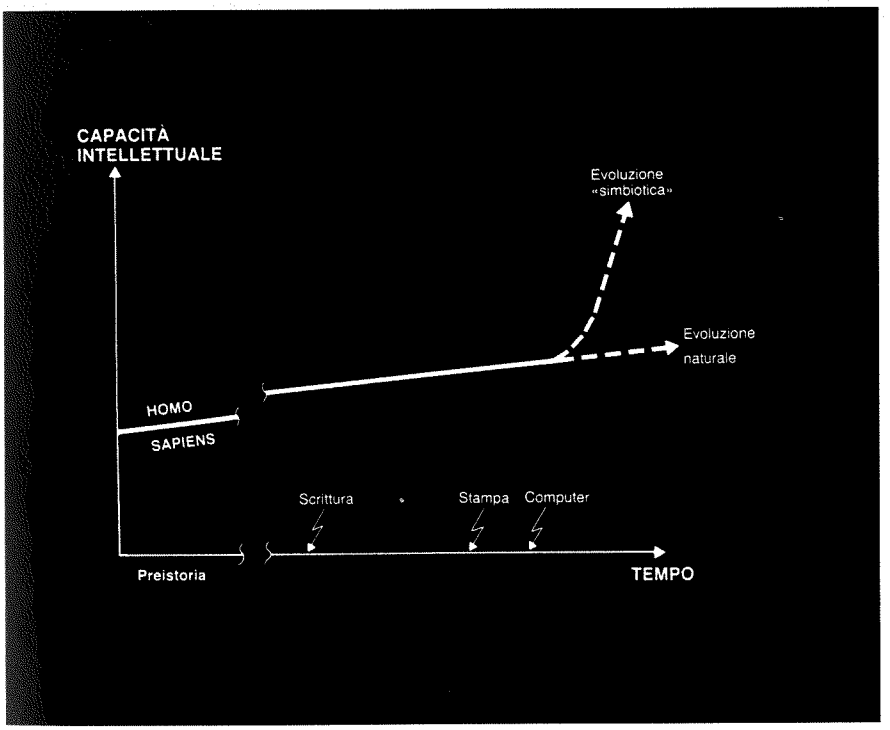


Con questi nuovi concetti e strumenti, lo schermo del computer diventa il confine di un mondo virtuale, in cui l'utente può entrare e con cui può interagire come se fosse reale. Si apre così un ulteriore, straordinario scenario dell'informatica, quello delle "realtà artificiali", le cui potenzialità applicative sono ancora da esplorare.



	PARADIGMI ELABORATIVI		
	tradizionale **macchine che eseguono**	I.A. "classica" **macchine che ragionano**	connessionista **macchine che si autopro-grammano**
L'UOMO	fornisce la soluzione dei problemi	fornisce la descrizione dei problemi	insegna a risolvere i problemi
LA MACCHINA	opera su simboli, mediante processi algoritmici	opera su simboli, mediante processi logico-deduttivi	opera su pattern, mediante processi associativi
IL MODELLO	non ha particolari riferimenti umani	è la mente (modello funzionale dell'intelligenza)	è il cervello (modello fisico dell'intelligenza)

In estrema sintesi, si possono individuare oggi tre paradigmi di elaborazione automatica delle informazioni. Il primo è quello originario delle macchine che eseguono procedure o algoritmi descritti in ogni dettaglio dall'uomo. Il secondo, sviluppato in pratica negli anni '80 coi Sistemi Esperti, è quello della Intelligenza Artificiale "classica", che fa riferimento a macchine messe in grado di eseguire ragionamenti. Il terzo, infine, ancora in stato embrionale, è quello caratterizzato dalle macchine che imparano e quindi si autoprogrammano. I tre paradigmi non vanno considerati tra loro in alternativa, ma piuttosto complementari nell'affrontare tipi diversi di problemi.



Attraverso gli articoli pubblicati via via dai "Quaderni" ci si può render conto di come tra l'uomo e il computer si stia instaurando un vero e proprio rapporto simbiotico. Il carattere peculiare di questa macchina, che impatta direttamente sulla sfera intellettiva dell'uomo, porta a domandarsi se e quali conseguenze questo rapporto potrà avere sulla evoluzione della specie. Una ipotesi che si può formulare è che l'amplificazione delle capacità mentali resa possibile dal computer potrebbe introdurre una discontinuità evolutiva senza riscontro in tutta la precedente storia della vita sulla Terra.

Evoluzione della architettura dei microprocessori: dai CISC ai RISC

FRANCO FILIPPAZZI, GIULIO OCCHINI

Centro Studi Informatica e Automazione
Bull Italia

1. La nascita del microprocessore

Il microprocessore vede la luce nell'estate del 1971 a Santa Clara, California, nei laboratori della Intel. L'annuncio pubblicitario del prodotto (novembre dello stesso anno) presentava l'evento come l'inizio di una nuova era per l'elettronica e l'informatica. Alla luce dei fatti, possiamo dire che poche altre volte come in questo caso l'iperbole pubblicitaria ha corrisposto alla realtà.

All'origine del progetto c'era la commessa all'Intel da parte di una azienda giapponese per sviluppare l'elettronica di un piccolo calcolatore da tavolo. Il disegno logico fornito dal committente era costituito dall'assemblaggio delle varie funzioni richieste e portava ad una dozzina di chip. Questo approccio si rivelava poco efficiente in termini di utilizzazione della capacità di integrazione dell'epoca, che consentiva di mettere in un singolo chip fino a circa 2000 transistori. In realtà, ognuno dei chip in cui si poteva ritagliare lo schema logico della macchina restava molto al di sotto di questo valore a causa della cosidetta "pin limitation", cioè del vincolo rappresentato dal numero massimo di connessioni del chip col mondo esterno.

Il responsabile del progetto, Marcian Hoff, ripensò allora l'intero disegno logico della macchina, partendo dall'idea di utilizzare lo schema di un calcolatore elettronico vero e proprio, ossia lo schema di Von Neumann. Ne risultò una soluzione drasticamente più semplice, che richiedeva tre soli chip: uno di CPU, uno di RAM e uno di ROM.

All'ottenimento di questo risultato, cruciale fu l'adozione di una struttura a bus, ossia di percorsi comuni per le comunicazioni tra le varie parti del sistema. Questa soluzione consentiva di ridurre in modo sostanziale il numero di pin di I/O necessari per la CPU. La struttura a bus (richiamata in fig. 1) fu mantenuta nei modelli successivi ed è tuttora caratteristica comune di tutti i sistemi a microprocessore.

L'implementazione elettronica dello schema fu attuata con tecnologia MOS da Federico Faggin e portò al 4004, la prima CPU su un chip o *microprocessore*. Il dispositivo era costituito da 2300 transistori e conteneva le classiche unità funzionali di una CPU, ossia l'unità di controllo e l'unità logico-aritmetica. La ROM conteneva i programmi corrispondenti alle varie operazioni eseguibili dal calcolatore, mentre la RAM era riservata ai dati su cui operare. Il 4004 aveva parallelismo 4, tale era, cioè, il numero di bit dei registri di base nonchè il numero dei conduttori del bus.

L'interesse suscitato da questo tipo di prodotto andò molto oltre le stesse aspettative della Intel, spingendo l'azienda a progettare e mettere sul mercato (1974) una versione decisamente più potente, con parallelismo 8 bit, il famoso 8080, che incontrò un enorme successo, innescando un vero e proprio fenomeno di massa.

La fig. 2 riproduce lo schema a blocchi dell'8080, che si può descrivere distinguendo in esso tre sezioni.

Partendo da sinistra, troviamo l'*unità logico-aritmetica* coi due registri (*accumulatore* e *registro temporaneo*) per gli operandi. Il risultato viene, di volta in volta, riposto nell'accumulatore. Lo schema include un *registro di stato* che immagazzina particolari segnalazioni relative alle operazioni svolte (riporto, risultato di confronti ecc).

La seconda sezione del dispositivo è quella che interpreta l'istruzione da eseguire e genera i comandi relativi. L'istruzione arriva sul *bus dati*, viene immagazzinata nell'apposito registro e poi inviata ad una rete logica (*decodificatore dell'istruzione*) che riconosce di quale istruzione si tratti. Segue un blocco di circuiti (*temporizzazione e controllo*), che traduce l'istruzione in una opportuna sequenza di segnali elettrici, i quali vanno ad attivare le varie parti del sistema coinvolte nella specifica istruzione. Poichè tali parti possono trovarsi sia all'interno che all'esterno del microprocessore, alcune delle linee di controllo si richiudono dentro il chip stesso, mentre altre escono e sono rese disponibili sul *bus di controllo.*

L'ultima sezione, a destra dello schema, comprende una serie di registri ausiliari, tra cui il *contatore di programma* e il *puntatore di stack*. Il meccanismo di questi due registri è quello classico. Posto l'indirizzo

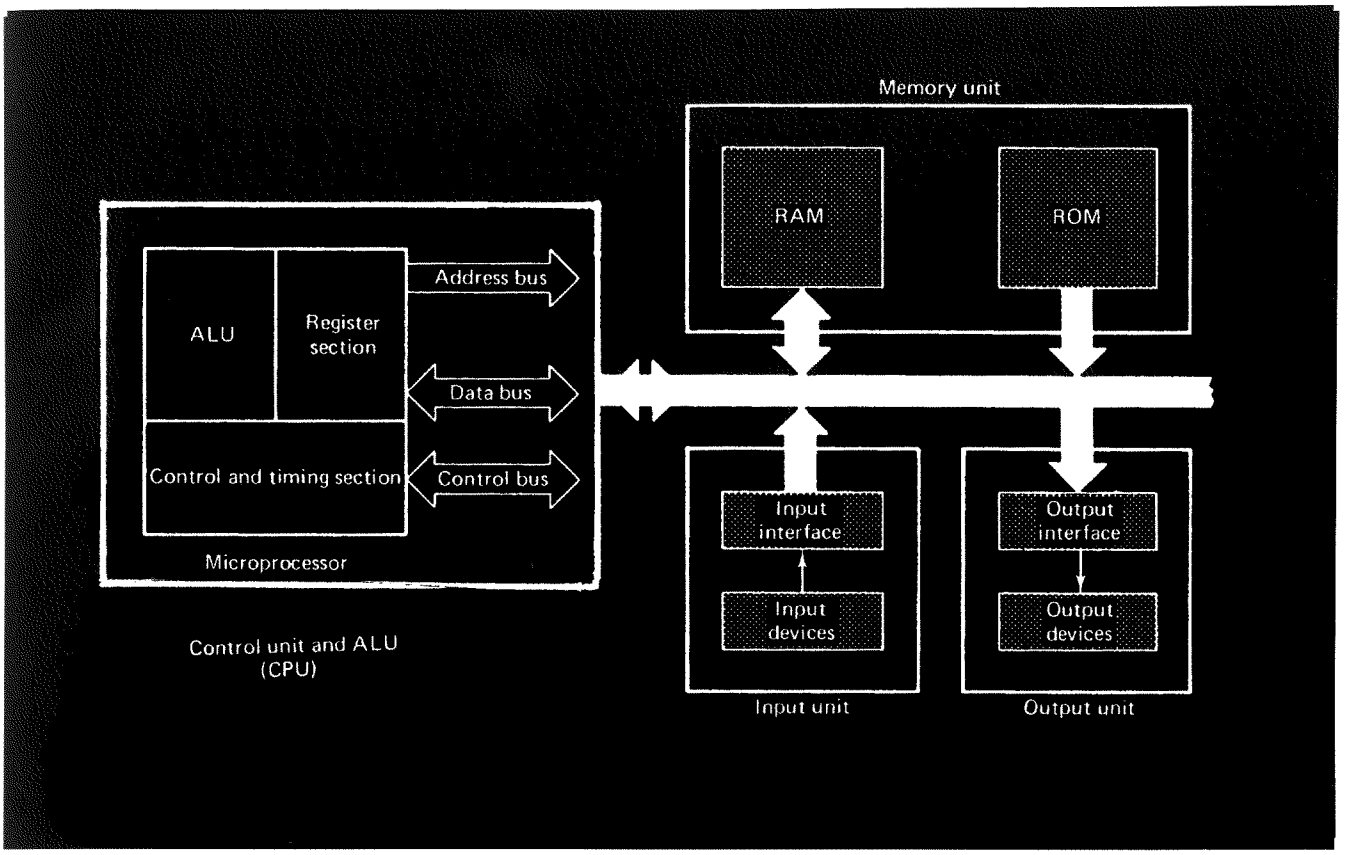


Fig. 1 - La struttura a bus è adottata in tutti i sistemi a microprocessore.

della prima istruzione del programma nel contatore, gli indirizzi successivi si ottengono incrementando via via di 1 il contatore stesso. Una eccezione a questo modo di procedere si ha in presenza di una istruzione di salto ad un sottoprogramma, di cui viene fornito l'indirizzo di partenza. In tal caso, questo indirizzo viene forzato nel contatore, mentre l'indirizzo cui tornare a sottoprogramma eseguito viene salvato in una apposita zona di memoria (*stack*) e da qui recuperato utilizzando il puntatore.
Se all'interno del sottoprogramma c'è il rinvio ad un altro sottoprogramma (*nidificazione*), anche questo indirizzo di rientro viene impilato nello stack e poi recuperato mediante il puntatore.

Si è ricordato con qualche dettaglio l'architettura dell'8080 per mostrare come essa rispecchi l'usuale schema di Von Neumann. La scelta del bus come mezzo di interconnessione della varie parti del sistema fu mutuata dai mini, gli unici calcolatori che allora lo adottassero.

Su questo impianto di base negli anni successivi sarebbero state innestate ulteriori funzionalità ed elementi architettonici nuovi (pipeline, memorie cache, ecc.) che ne hanno enormemente potenziato le prestazioni. Il microprocessore è diventato ormai il cuore di tutti i sistemi di elaborazione nella fascia che, a partire dai personal, arriva alle workstation sofisticate e ai minicomputer multiutente. In prospettiva, anche gli elaboratori di maggiori dimensioni, inclusi i mainframe e i supercomputer, saranno basati su questi dispositivi.

2. Le linee Intel e Motorola

Nell'individuare le tappe dell'evoluzione del microprocessore si può fare riferimento alle linee di prodotto di due aziende di semiconduttori leader mondiali del settore, ossia l'Intel stessa e la Motorola.

La tabella di fig. 3 elenca i prodotti più significativi della linea Intel.

Dopo l'8080, una importante evoluzione fu costituita dal raddoppio del parallelismo con lo sviluppo dell'8086, un dispositivo a 16 bit, messo sul mercato nel 1978. Va però citato anche l'8088, uscito due anni dopo, non tanto perchè segnò un particolare progresso tecnologico, ma perchè fu adottato dalla IBM per i suoi primi personal computer. Per la precisione va detto che l'8088 aveva prestazioni inferiori all'8086 (registri a 16 bit ma bus a 8 bit), compensate però da una notevole riduzione di costo.

L'uso del microprocessore come cuore di una macchina destinata ad una enorme diffusione come il PC, segna un momento importante nella storia dell'informatica perchè

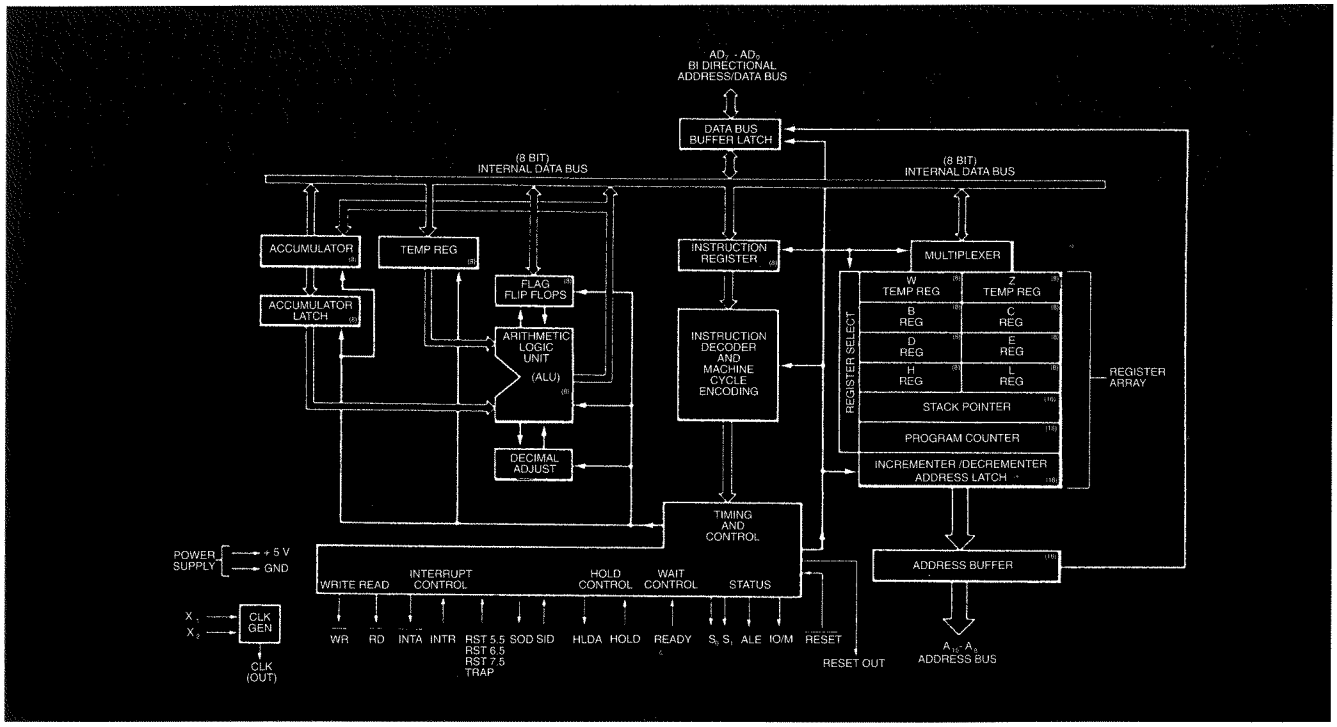


Fig. 2 - Schema a blocchi del famoso 8080.

Fig. 3 - La famiglia dei microprocessori Intel

NOME	ANNO	AMPIEZZA DEI REGISTRI	AMPIEZZA DEL BUS DATI	SPAZIO DI INDIRIZ.
4004	1971	4	4	1K
8008	1972	8	8	16K
8080	1974	8	8	64K
8086	1978	16	16	1M
8088	1980	16	8	1M
80286	1982	16	16	16M
80386	1985	32	32	64T
80486	1989	32	32	64T
80586	1992	64	64	>>64T

associa strettamente questo dispositivo ad uno specifico sistema operativo, nella fattispecie l'MS-DOS della Microsoft. Si è trattato veramente di una svolta in quanto ha segnato l'avvento degli standard, ossia di una nuova era sia per i produttori di hardware e di software che per gli utenti.

L'8088 e l'8086 potevano indirizzare al massimo un megabyte di memoria e agli inizi degli anni 80 questa divenne una limitazione sempre più seria. Perciò l'Intel progettò l'80286, versione avanzata e compatibile dell'8086. L'insieme delle istruzioni fondamentali era essenzialmente lo stesso dell'8086, ma

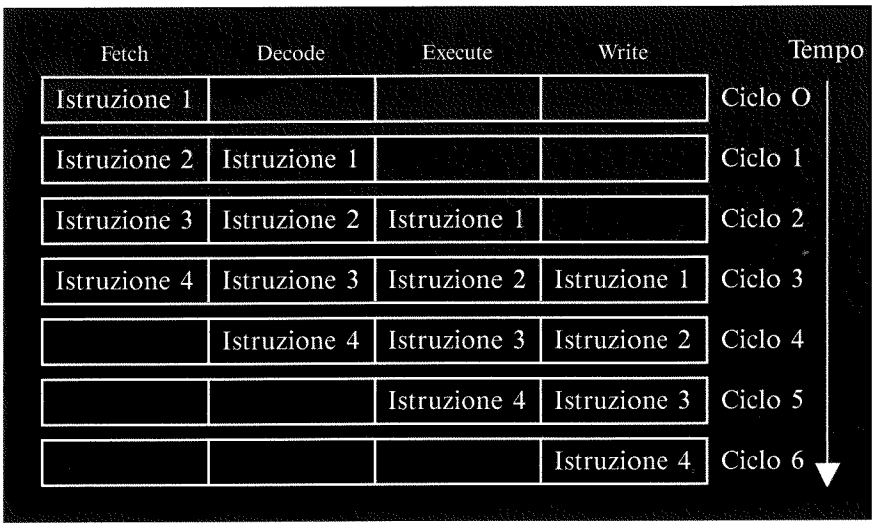


Fig. 4 - Schema di funzionamento di una pipeline a 4 stadi (Fetch, Decode, Execute, Write). Il trattamento contemporaneo di più istruzioni riduce drasticamente il tempo complessivo. A regime, infatti, ad ogni ciclo di macchina viene completata una istruzione; in assenza di pipeline, ciò avverrebbe ogni 4 cicli.

l'organizzazione della memoria era molto differente. L'80286 venne adottato dalla IBM per i suoi PC/AT e, come l'8088, ebbe un enorme successo.

Il nuovo modello consentiva, in particolare, un'ampia estensione della memoria indirizzabile. Questa esigenza nasceva dall'uso sempre più spinto che veniva fatto del personal computer in certe aree applicative come il CAD e la grafica. Il sistema operativo originario, l'MS-DOS, non era in grado di supportare in modo efficace utilizzi di questo genere; si apre quindi in questo periodo la strada per l'adozione di sistemi operativi standard più evoluti, tipicamente UNIX, che, appunto, consente di gestire capacità di memoria molto maggiori dell'MS-DOS.

La richiesta di sempre maggiori prestazioni, nonchè il graduale diffondersi di UNIX, resero necessario il parallelismo a 32 bit, e quindi l'introduzione dell'80386 e successivamente dell'80486, una versione più veloce del precedente.

Siamo così arrivati ai giorni nostri, che vedono l'avvento dell'80586, in cui si raddoppia ulteriormente il parallelismo, portandolo a 64 bit.

Passando ora all'altro leader del settore, la Motorola, si può ricordare che introdusse il suo primo microprocessore, il 6800, non molto dopo l'8080. Il 6800 era confrontabile, anche se non compatibile, col prodotto Intel. Una sostanziale diversificazione tra le due aziende si verificò alla fine degli anni 70, quando la Motorola introdusse il 68000. Mentre Intel perseguiva una strategia di compatibilità lungo tutta la sua linea di prodotti, Motorola col 68000 preferì accettare una rottura col passato allo scopo di presentare un prodotto che, non dovendo rispettare certi vincoli, consentisse un disegno più razionale e prestazioni più avanzate.

Il 68000, infatti, pur avendo ancora un bus a 16 bit, presentava una struttura di registri a 32 bit e uno spazio di memoria indirizzabile di 16 MB. Grazie a queste caratteristiche il 68000 fu adottato da costruttori come la Apple nonchè da altri che avevano preso come sistema operativo di riferimento, anzichè MS-DOS, l'assai più sofisticato UNIX. Si può in proposito ricordare che una delle caratteristiche fondamentali di UNIX è di utilizzare il concetto di memoria virtuale e col modello 68010 la Motorola supportò appunto questa funzionalità.

Il modello successivo, il 68020, fu un 32 bit completo (registri e bus), con indirizzamento fino a 4 GB. Questo dispositivo divenne il cuore di molte workstation avanzate come quelle di Sun, Apollo e HP. Seguirono il 68030, che conteneva nel chip anche l'unità di gestione della memoria (MMS), e poi il 68040 che inglobava nel chip un coprocessore a virgola mobile e una memoria cache.

Analizzando gli attuali prodotti delle linee Intel e Motorola si può dire che essi sono sostanzialmente confrontabili quanto a prestazioni e complessità. A titolo di esempio, il 68040 contiene 1.2 milioni di transistori, mentre l'80486 ne contiene 1.16 milioni.

Dalla sua comparsa ad oggi, il microprocessore ha fatto progressi giganteschi; basti considerare che la potenza di elaborazione, che era di qualche migliaia di istruzioni al secondo nel 4004, si misura oggi nell'ordine delle decine di MIPS. Al raggiungimento di questo risultato hanno concorso due diversi fattori: da un lato, l'evoluzione tecnologica, che ha consentito di aumentare di circa tre ordini di grandezza il numero di transistori del chip; dall'altro, l'evoluzione architettonica, che non si è limitata ad aumentare via via il parallelismo di bus e registri, ma ha anche aggiunto

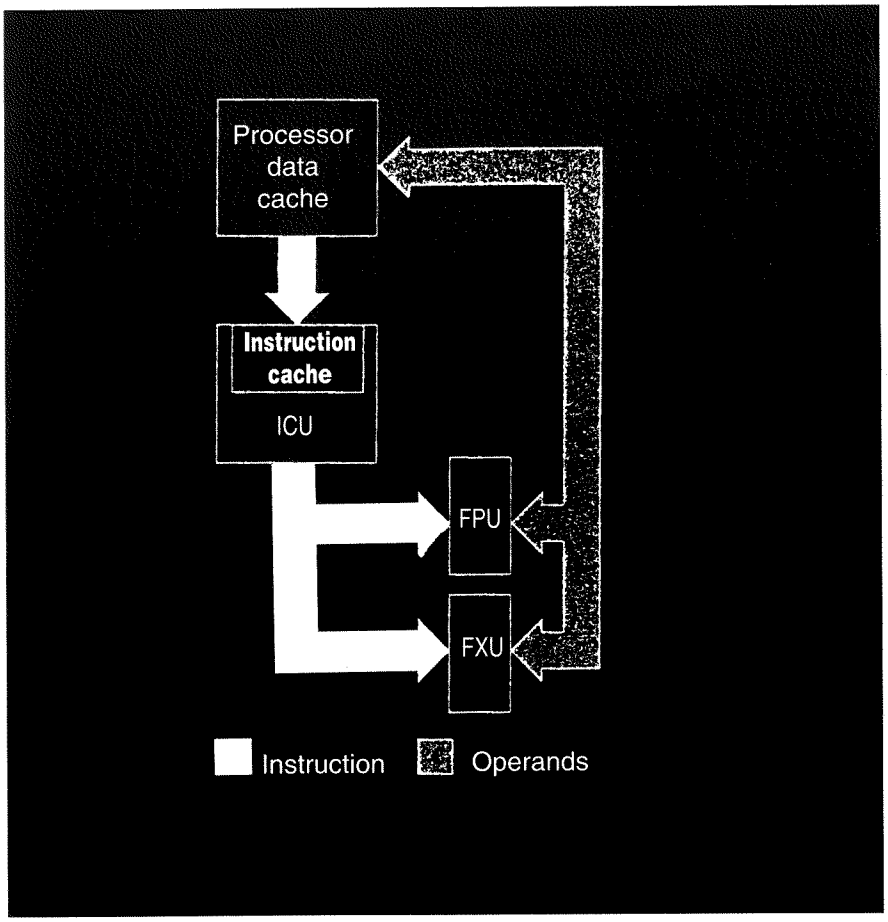


Fig. 5 - Esempio di architettura superscalare (RISC System/6000 della IBM). La Instruction Cache Unit (ICU) preleva due istruzioni per volta e alimenta in modo appropriato due diverse pipeline (FXU e FPU).

allo schema originario nuovi elementi strutturali. Su alcuni di questi ultimi vale la pena di soffermarci brevemente.

Microprogrammazione

Il concetto di microprogrammazione non è affatto originale del microprocessore, ma risale addirittura alla fine degli anni '50, quando venne introdotto da Wilkes, e da allora ampiamente impiegato nell'architettura degli elaboratori.Si tratta, come noto, di un approccio per cui le funzioni dell'unità di controllo vengono suddivise in un certo numero di operazioni elementari (*microistruzioni*), ciascuna delle quali molto più semplice delle normali istruzioni. Le varie sequenze di microistruzioni (*firmware*) vengono registrate in una memoria di sola lettura (ROM). Il vantaggio fondamentale della microprogrammazione risiede nella flessibilità, in quanto si possono modificare le funzionalità dell'unità di controllo cambiando soltanto il contenuto della ROM. Questo approccio è stato adottato in tutti i recenti microprocessori sia Intel che Motorola e la ROM fa parte integrante del chip.

Memoria cache

Una memoria cache è un livello di memoria interposto tra i registri della CPU e la RAM allo scopo di velocizzare i trasferimenti di memoria e, quindi, le prestazioni della CPU. Il nome si riferisce al fatto che la presenza della cache è "nascosta" all'utente che ne vede solo l'effetto in termini di aumento della velocità. Lo sfruttamento della memoria cache presuppone l'utilizzo di meccanismi di anticipazione (look-ahead) di informazioni contenute in RAM, siano essi dati o istruzioni. Anche la cache è diventata ormai un elemento architettonico comune dei microprocessori ed è realizzata nello stesso chip.

Pipeline

La pipeline è un meccanismo che mira a creare un parallelismo nel trattamento delle istruzioni da parte della CPU. In una architettura pipeline il trattamento di una istruzione viene realizzato mediante delle unità hardware disposte in cascata, ognuna delle quali effettua una delle fasi elementari in cui si può suddividere tale processo. Il nome deriva dal fatto che le varie unità di cui sopra costituiscono una specie di condotto attraverso cui transitano i dati su cui si deve operare.
Il vantaggio di questa struttura è che non occorre aspettare che una istruzione sia completamente trattata prima di passare a quella successiva. In condizioni di funzionamento a regime, nella pipeline sono presenti diverse istruzioni in fasi diverse di trattamento, tante quante sono le unità hardware in cascata (fig. 4). Una analogia intuitiva si può stabilire con il concetto di catena di montaggio, dove esistono più stazioni di lavorazione, in serie tra loro, ognuna specializzata in un compito. Ogni

stazione riceve un semilavorato da quella che la precede e lo passa alla successiva dopo aver eseguito la sua fase di lavorazione.
Da quanto sopra, l'architettura pipeline consente di aumentare il numero di istruzioni trattate nell'unità di tempo, ossia il throughput della CPU. Questo schema, adottato originariamente nei calcolatori di grande potenza, è ormai di uso corrente nei microprocessori più veloci. Come per la cache, anche per la pipeline un uso efficace richiede la capacità di preordinare opportunamente la sequenza di istruzioni da eseguire.
Due concetti collegati alla pipeline sono la *superscalarità* e il *superpipelining*. La prima (fig. 5) consiste nella realizzazione di più pipeline parallele, cui smistare diversi tipi di istruzioni; per esempio, si può prevedere una pipeline per le operazioni con numeri interi e una per quelle in virgola mobile. Ciò richiede evidentemente un dispatcher che distribuisca opportunamente le istruzioni da eseguire tra le diverse pipeline. Il concetto di superpipeline è invece una estensione di quello di pipeline nel senso di aumentare le fasi in cui è suddiviso il trattamento dell'istruzione; di conseguenza, aumenta il numero delle istruzioni trattate contemporaneamente.

Memory Management System (MMS)

Tenendo conto che sistemi operativi come UNIX hanno una visibilità unificata di tutte le risorse di memoria, da quelle di lavoro a quelle di massa (concetto di *memoria virtuale*), diventa necessario esercitare un controllo centralizzato su tutta la gerarchia. Questa funzione è, per la parte hardware, realizzata dal cosidetto Memory Management System, che è direttamente incorporato nei microprocessori più potenti.

3. La biforcazione CISC-RISC

L'evoluzione del microprocessore ha portato, in sostanza, ad uno straordinario aumento della velocità di elaborazione. Questa spinta al sempre più veloce può apparire ingiustificata al profano, che può vedere in ciò una specie di consumismo, alimentato artificiosamente dai fornitori.

In realtà, dietro questa corsa c'è una esigenza precisa, rappresentata dalla crescente quantità di software che anche un semplice personal è chiamato a gestire. In particolare, l'avvento delle cosidette *Graphical User Interfaces (GUI),* dirette a semplificare l'interazione uomo-macchina, richiede grandi e crescenti potenze di elaborazione.
Tutto ciò si riflette direttamente sulle prestazioni richieste al microprocessore. Come si può meglio rispondere a questa obiettiva esigenza? Negli ultimi anni è stata impostata una revisione critica dei tradizionali approcci hardware e software relativi al microprocessore, nella ricerca di nuovi livelli di ottimizzazione. Un primo aspetto messo in discussione è l'impiego della microprogrammazione.

Quando venne introdotta alla fine degli anni 50 e per parecchi anni successivi, esisteva un forte divario tra la velocità delle memorie di lettura-scrittura (RAM) e quella delle memorie di sola lettura (ROM), a favore di quest'ultime. Questo divario si è andato via via riducendo con l'introduzione di una stessa tecnologia (semiconduttori) per entrambi i tipi di memoria.

Parallelamente, si è assistito ad una crescita costante della complessità del firmware, con microistruzioni sempre più complicate e numerose, nell'intento di ridurre la distanza (''gap semantico'') tra linguaggio macchina e linguaggi di alto livello. Il risultato è che negli elaboratori più diffusi il numero delle istruzioni di base è cresciuto a dismisura (diverse centinaia). Se però si va ad analizzare l'utilizzazione pratica di set di istruzioni così estesi, si trova che statisticamente solo un numero molto ridotto di istruzioni (poche decine) viene effettivamente usato. In altre parole, se in teoria può essere utile scrivere programmi facendo uso di istruzioni molto complesse, di fatto nell'uso corrente si fa riferimento ad un numero ridotto di istruzioni semplici.

Una ulteriore importante osservazione riguarda il fatto che l'utilità di disporre di un ampio set di istruzioni è diminuita nel tempo a fronte dei progressi compiuti dalle tecniche di sviluppo dei compilatori.

Nasce da queste considerazioni l'idea di realizzare delle architetture di elaborazione con un set ridotto di istruzioni, le più semplici possibili e direttamente eseguibili dall'hardware. Individuando convenzionalmente col termine CISC *(Complex Instruction Set Computer)* le architetture tradizionali, questo nuovo orientamento viene appropriatamente chiamatao RISC *Reduced Instruction Set Computer*).

Le architetture RISC sono, per certi versi, un ritorno alle origini dell'elaborazione elettronica, in quanto non fanno uso di microcodice.

Come per tutti gli altri aspetti architettonici citati, anche il RISC non nasce con il microprocessore. Esso risale infatti alla metà degli anni Settanta, quando John Cock progettò con componenti integrati convenzionali il minicomputer IBM 801, la prima macchina a riscoprire i vantaggi di un'architettura estremamente semplificata. Nella seconda metà degli anni 80 l'idea venne ripresa da alcuni fabbricanti di semiconduttori e nacquero così i primi microprocessori RISC.

A questo punto è opportuno esaminare con maggior approfondimento il significato di RISC, al di là di quello generico di macchina con set di istruzioni ridotto.

L'obiettivo fondamentale dell'approccio RISC è, in definitiva, di ridurre al minimo il numero dei cicli di macchina *(clock)* necessari per eseguire le istruzioni di base. Al limite, si vuole arrivare a far sì che ad ogni ciclo corrisponda l'esecuzione di una istruzione. Da qui una serie di scelte obbligate, di cui si richiamano brevemente le più importanti.

Tutte le istruzioni RISC *fondamentali* hanno la stessa durata (un ciclo di macchina), la stessa lunghezza e lo stesso formato. Le istruzioni di

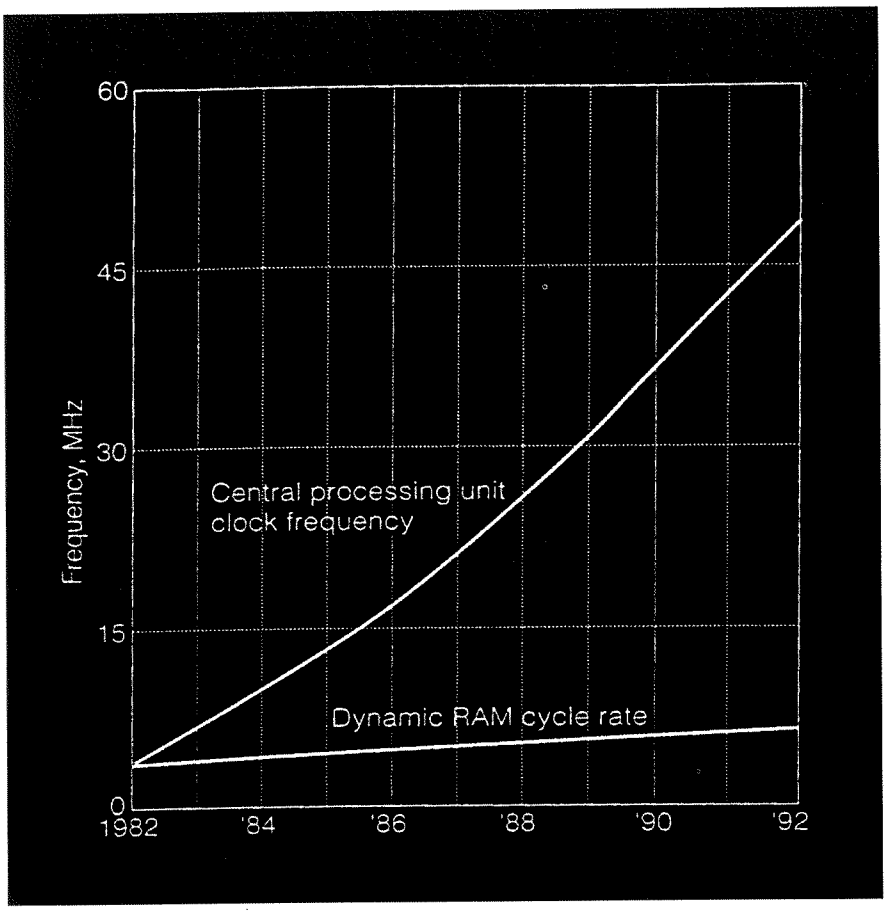


Fig. 6 - La velocità dei microprocessori è aumentata molto più rapidamente di quella delle memorie RAM dinamiche.

accesso alla memoria RAM richiedono tempi corrispondenti a più cicli di macchina e sono quindi escluse dal set base RISC. In effetti, la velocità delle memorie RAM è cresciuta con un ritmo assai inferiore a quello delle CPU (fig. 6). Quando queste operazioni di accesso alla RAM sono necessarie, esse vengono realizzate attraverso più passi elementari, utilizzando istruzioni RISC. Le operazioni avvengono esclusivamente attraverso registri, con caricamento preventivo degli operandi (istruzione LOAD da memoria a registro) e successivo immagazzinamento del risultato (istruzione STORE da registro a memoria). Per questa ragione, le architetture RISC sono anche chiamate LOAD/STORE.

È tuttavia impossibile fare a meno di istruzioni che richiedano per la loro esecuzione più di un ciclo di macchina. Un compromesso tipico delle macchine RISC è, anzichè pretendere che ogni istruzione venga eseguita in un ciclo, far si che ad ogni ciclo se ne inizi una nuova. Per realizzare questo obiettivo è connaturato ai microprocessori RISC l'uso intensivo del concetto di pipeline nelle sue versioni più spinte (superscalarità, superpipeline).

Da quando precede si vede come il basso numero di istruzioni di base che caratterizza le macchine RISC sia, più che un obiettivo in sè, una conseguenza del voler trattare una istruzione per ciclo.

In questa accezione il RISC rappresenta un nuovo livello di ottimizzazione tra hardware e software, in cui il primo viene semplificato al massimo per raggiungere la massima velocità operativa, mentre il secondo si assume l'onere di compensare la rigidità introdotta nell'hardware. In sostanza, c'è un passaggio di complessità dall'hardware al software, favorito dai già citati progressi delle tecniche di sviluppo dei compilatori.

L'aspetto più appariscente dell'approccio RISC è la semplificazione della struttura hardware. Si direbbe che i sostenitori del RISC si attengano all'ideale espresso dallo scrittore Antoine de St. Exupéry: *"La perfezione si ottiene non quando non c'è più niente da aggiungere, ma quando non c'è più niente da togliere"*.

4. RISC a confronto con CISC

Una valutazione comparativa di queste due architetture deve includere sia gli aspetti tecnico/funzionali che quelli economico/commerciali.

	RISC	CISC
1	Istruzioni semplici che richiedono un ciclo	Istruzioni complesse che richiedono più cicli
2	Solo LOAD e STORE possono fare riferimento alla memoria	Ogni istruzione può fare riferimento alla memoria
3	Molta pipeline	Nessuna o poca pipeline
4	Istruzioni eseguite dall'hardware	Istruzioni interpretate dal microprogramma
5	Istruzioni a formato fisso	Istruzioni a formato variabile
6	Poche istruzioni e modalità	Molte istruzioni e modalità
7	La complessità è nel compilatore	La complessità è nel microprogramma
8	Insieme strutturato di registri	Insieme di registri singoli

Fig. 7 - Principali differenze tra macchine RISC e CISC.

Il primo punto - le prestazioni - si può ricondurre, in estrema sintesi, alla velocità operativa.

La misura di questo parametro presenta difficoltà che non riguardano solo i microprocessori ma i sistemi di elaborazione in senso lato. Ciò deriva dal fatto che la velocità di una macchina non ha senso in assoluto, ma deve essere rapportata all'ambiente applicativo in cui essa è destinata ad operare.

Questa difficoltà oggettiva è rispecchiata dalla molteplicità degli indicatori via via introdotti per valutare la velocità. Si va dalla frequenza di clock (in MHz), al numero di istruzioni (in MIPS) o di operazioni in virgola mobile (in MFLOPS) per secondo, al throughput (che coinvolge, oltre la CPU, anche l'I/O) ecc.

Tutte queste misure, con l'eccezione della frequenza di clock, lasciano un ampio margine di incertezza, in quanto legate alle modalità stesse della misura. Ad esempio, per MIPS e MFLOPS occorre definire il mix di istruzioni che si prende in considerazione. Da qui la necessità di introdurre criteri statistici per operare tale scelta, criteri a loro volta condizionati dall'ambito applicativo in cui si prevede di usare la macchina. In questa logica si ricorre spesso al cosiddetto bench- marking, ossia a confrontare le prestazioni di macchine diverse sottoponendole ad uno stesso carico di lavoro il più possibile rappresentativo di situazioni di esercizio.

Volendo, ad ogni modo, effettuare un confronto di tipo generale tra l'approccio RISC e quello CISC dobbiamo tener conto che ciò che alla fine è misurabile non è mai la pura prestazione dell'hardware, ma quella del sistema costituito dall'hardware, dal Sistema Operativo e dal compilatore del linguaggio di programmazione usato.

Ciò detto, si possono mettere in evidenza alcune differenze di base tra le due architetture e il loro effetto sulle prestazioni.

La tabella di fig. 7 richiama le principali di tali differenze. Alcune sono evidenti, alla luce di quanto già detto, altre richiedono invece qualche spiegazione. In particolare, vale la pena di soffermarci sull'ultimo punto, che riguarda la filosofia di impiego dei registri.

La semplicità strutturale del RISC (assenza di microcodice) rende disponibile un'ampia area di silicio, che può essere vantaggiosamente utilizzata per realizzare sul chip dei dispositivi di memoria veloce, in particolare registri e cache.

In accordo con la filosofia RISC di eliminare, per quanto possibile, le istruzioni che richiedono più di un ciclo di clock, le operazioni correnti vengono di norma eseguite utilizzando i registri, riducendo al minimo l'uso di istruzioni da e verso la memoria RAM. L'area di silicio resasi disponibile viene perciò di norma utilizzata per realizzare sul chip un numero molto elevato di registri (fino a svariate centinaia). Inoltre, per rendere più efficace il loro utilizzo, essi vengono strutturati secondo uno schema a finestre sovrapposte *(overlapping register windows)*, che consente, in ogni fase di elaborazione, di vedere solo quel sottoinsieme di registri che serve allo scopo.

Per quanto riguarda la cache, il suo impiego è complementare a quello dei registri, perchè riguarda indifferentemente dati ed istruzioni.
Il dimensionamento ottimale di questi due tipi di memoria è un problema aperto, che giustifica le differenti soluzioni adottate nelle varie implementazioni RISC.

Un ulteriore vantaggio della minor area di silicio richiesta da uno schema RISC è la possibilità di utilizzare tecnologie più veloci ma più dissipative, in particolare basate su semiconduttori composti come l'arseniuro di gallio. Questa prospettiva risulta importante nell'ottica di un potenziale utilizzo dei micropro-

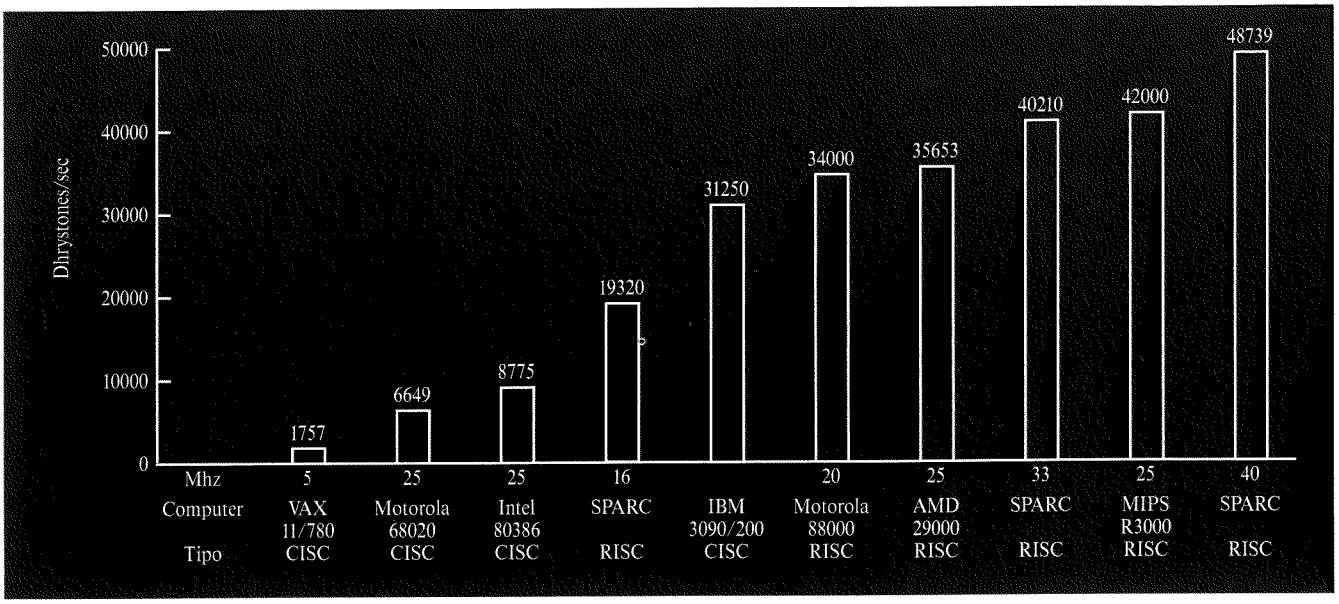


Fig. 8 - Numero di dhrystone/sec per vari calcolatori RISC e CISC.
(Con grossa approssimazione 2000 dhrystone equivalgono a 1 MIPS).

cessori RISC anche nei grandi e grandissimi sistemi di elaborazione.

L'utilizzazione efficace della massa dei registri e della memoria cache di un chip RISC ha come contropartita un aumento della complessità del progetto software (compilatori e S.O.). Occorrono infatti meccanismi sofisticati per preordinare opportunamente la sequenza delle istruzioni da eseguire. D'altro lato, i fautori delle architetture RISC sostengono che questa maggiore complicazione del software è compensata dai vantaggi connessi ad un set molto semplice di istruzioni di base che riduce drasticamente il problema della scelta tra le svariate alternative di soluzione di uno stesso problema.

Un fattore che, invece, gioca indubbiamente a favore dei CISC è la potenza delle istruzioni di I/O, importante soprattutto nelle applicazioni di carattere gestionale.

Un elemento la cui valutazione dipende dal punto di vista, riguarda la compatibilità coi modelli precedenti. Questo problema non si pone oggi nei RISC, non avendo essi ancora una "storia" dietro di loro, mentre costituisce un vantaggio, ma anche un forte condizionamento nei CISC correnti.

Come si vede, il confronto sulla carta tra RISC e CISC dà luogo a risultati in parte opinabili. Tuttavia, i dati di performance pubblicati come esito di prove pratiche depongono a favore dei RISC. La fig. 8 mostra, ad esempio, i risultati di un bench-mark sulla velocità di operazioni con numeri interi effettuato su diversi tipi di CPU, sia microprocessori che mini e mainframe. L'unità di misura è il cosidetto *dhrystone*, che equivale mediamente a circa 500 istruzioni per secondo.

Passando ora agli aspetti economico/commerciali, gli elementi da prendere in considerazione sono, in prima approssimazione, il costo e il tempo di realizzazione di un chip.

Circa il costo, una regola pratica della microelettronica, afferma che — a regime e a parità di tecnologia — esso è proporzionale all'area del chip. Partendo dall'ipotesi che, se pure utilizzate in modo diverso, le aree dei chip RISC e CISC siano sostanzialmente uguali, il costo di fabbricazione non costituisce un elemento di differenziazione.

Un punto, invece, decisamente a favore del RISC è il tempo complessivo di sviluppo e di introduzione (*time-to- market*) che, grazie alla intrinseca semplicità del dispositivo, può essere significativamente minore.

5. Considerazioni conclusive

La valenza strategica del microprocessore

Il microprocessore è ormai elemento condizionante nella progettazione degli elaboratori, oggi nella fascia dei personal e dei mini (i soli attualmente basati su sistemi operativi standard), domani probabilmente anche in quella dei mainframe e dei supercomputer. La scelta di tale componente assume quindi una rilevanza strategica perchè significa scegliere una architettura da usare per molti anni in molti prodotti diversi.

Il microprocessore ha già avuto un ruolo fondamentale nella evoluzione

dell'informatica. L'avvento e il successo del PC sono stati, infatti, largamente condizionati prima dalla disponibilità di questo dispositivo e poi dal suo formidabile progresso. Questa fortunata sinergia ha dato luogo ad un fatto nuovo e di enorme portata per l'intero settore, come è l'affermarsi degli standard informatici.

Il dilemma make or buy

Per molti anni si è avuta una situazione che vedeva presenti sul mercato pochissimi fabbricanti di microprocessori (sostanzialmente Intel e Motorola), che producevano i "motori" per una molteplicità di costruttori di sistemi (IBM, Bull, Digital, Olivetti, ecc.), i quali differenziavano i loro prodotti soltanto in base al S.O. standard utilizzato: MS-DOS e UNIX.

Con l'avvento dei microprocessori RISC (fine anni Ottanta) il quadro si è sostanzialmente modificato. Molti dei costruttori di sistemi che prima acquistavano all'esterno i "motori" dei loro prodotti, decidono di svilupparli al loro interno.

Alla base di questa strategia c'è sicuramente l'intento di recuperare parte del valore aggiunto, sottraendolo ai fabbricanti di componenti. In questa svolta ha giocato positivamente la maggior semplicità del progetto RISC rispetto a quello CISC.

Allo stato attuale, abbiamo un panorama assai articolato, che vede almeno cinque diverse architetture RISC:

— il Power dell'IBM
— l'Alpha della Digital
— il Thunderbird della HP
— il Viking (successore dello SPARC) della Sun
— la serie R della MIPS.

Il problema che si pone per ciascuno di questi dispositivi è di superare il volume critico di produzione. Per perseguire questo obiettivo vitale, i loro costruttori stanno cercando, per varie vie (consorzi, partnership, libero accesso alla documentazione), di allargare quanto possibile il numero degli utenti dei loro motori.

Si sta così creando una differenziazione tra i produttori di informatica: quelli che sviluppano in proprio la tecnologia RISC, e quelli che l'acquistano per realizzare, attorno a tale nocciolo, i loro computer e le relative soluzioni applicative.

Esiste però anche una soluzione più articolata, come quella rappresentata dall'accordo Bull-IBM, in cui si parte dalla architettura RISC monoprocessore di uno dei partner (IBM) per svilupparne congiuntamente una di tipo multiprocessore.

Guardando al futuro, si può prevedere che RISC e CICS conviveranno per molto tempo differenziandosi tra loro, oltre che per gli aspetti architettonici, per il diverso livello di compatibilità.

Una sfida a livello mondiale

La storia del microprocessore, che è stata qui sinteticamente delineata, ci suggerisce un'ultima considerazione che va oltre lo specifico dispositivo e si collega ad un discorso assai più ampio di competitività a livello mondiale nel campo dell'elettronica e dell'informatica.

Le tecnologie di integrazione circuitale sono nate negli USA, che per lungo tempo ne sono rimasti i leader incontrastati.
Nell'ultimo decennio, però, l'industria giapponese dei semiconduttori ha saputo prima affiancarsi e poi superare quella americana in molte aree; l'esempio più clamoroso è quello delle memorie RAM, in cui oggi i giapponesi hanno praticamente il monopolio mondiale.

L'area dei microprocessori resta, invece, tuttora saldamente in mano all'industria statunitense, grazie ad uno sforzo continuo di innovazione. Ciò costituisce una importante premessa per mantenere la leadership americana nel settore delle tecnologie dell'informazione.

Quanto sopra riflette una caratterizzazione più generale della contrapposizione USA-Giappone, che vede da una parte la capacità nella innovazione di prodotto e dall'altra l'eccellenza nella ottimizzazione di processo.

In questo scenario è importante che l'Europa si ritagli un suo ruolo. Senza perdere di vista la competitività nei processi, è vitale la vicinanza alle fonti dell'innovazione. Un esempio di strategia coerente con questo principio può essere quello del gruppo Bull che ha accordi di collaborazione tecnologica sia con la giapponese NEC sia, come già accennato, ora anche con la IBM.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano Mario Nobile, del laboratorio di ricerca e sviluppo della Bull di Pregnana Milanese, per le utili discussioni.

Bibliografia

La bibliografia sui microprocessori e le loro architetture è sterminata. Qui ci si limita a segnalare alcune utili letture di approfondimento.

La storia del primo microprocessore (il 4004) si può trovare nel volume di Charles Kerridge, *Microchip Technology - The past and the future,* J. Wiley, 1985.

Un testo fondamentale sulle architetture di elaborazione, con specifici riferimenti ai microprocessori, è quello di Andrew Tannenbaum, *Structured Computer Organization,* Prentice-Hall, 1990.

Una raccolta di saggi sulle architetture avanzate si trova in D.D. Gajski et al, *Tutorial on Computer Architecture,* IEEE Computer Society Press, 1989.

Sul problema della misura delle prestazioni si può vedere l'articolo di D.F. Hinnant, *Benchmarking: Art, Science or Black Magic?,* IEEE Micro Magazine, vol. 8, Oct. 1988.

Sulle architetture RISC si possono consultare: R.S. Piepho e W.S.Wu, *A Comparison of RISC Architectures,* IEEE Micro Magazine, vol. 9, Aug. 1989; Bob Ryan, *Built for Speed,* Byte, Febr. 1992; Kenneth Sheldon et al, *The Future of Personal Computing,* Byte, Febr. 1992.

Può essere, infine, divertente leggere le interpretazioni degli acronimi CISC e RISC proposte da Lee Hoevel nella rubrica *"The Open Channel"* nel numero di gennaio 1992 di Computer.

Il computer nell'analisi di affidabilità dei circuiti integrati complessi

PAOLA MAURI

SGS-THOMSON Microelectronics
Castelletto (Milano)

1. Introduzione

ART (Advanced Reliability Tools) è un sistema informativo di ausilio alle valutazioni di affidabilità su circuiti integrati: è stato progettato, realizzato e viene abitualmente utilizzato in un laboratorio di affidabilità dell'SGS-THOMSON.
La formulazione di un giudizio di affidabilità richiede un ampio spettro di dati e conoscenze che sono analizzati per mezzo di diverse teorie (elettronica, chimica, fisica) e con metodi diversi (statistica, strategie euristiche, esperienza). Inoltre i dati che descrivono le prestazioni affidabilistiche dei circuiti integrati sono risultati quantitativi di prove accelerate (tempi di guasto e misure di parametri elettrici) e descrizioni qualitative di dispositivi falliti. Per adattarsi alla molteplicità di questi approcci valutativi si è progettato ART come un sistema ibrido utilizzando diverse tecniche di software e integrando moduli per processare le conoscenze con componenti costruiti con tecnologie più tradizionali.
Così, in un sistema prevalentemente basato sulla tecnologia delle basi di dati si è progettato un modulo di scoperta per estrarre regolarità dai dati e costruire una base di conoscenze e si sono affiancate alle più tradizionali analisi statistiche di dati campionari le tecniche proprie dell'intelligenza artificiale.
Nella progettazione, realizzazione e validazione del sistema un punto importante è stato svolto dall'interazione del progettista/esperto di informatica con gli utenti/esperti di affidabilità: questa interazione si è concretizzata in un lavoro comune su problemi e in una verifica continua delle soluzioni adottate.

2. Il contesto

Per una migliore comprensione del sistema informativo si descrive brevemente il contesto sperimentale in cui si è sviluppato il progetto.

In termini generali l'affidabilità dei circuiti integrati viene provata attraverso la realizzazione di prove accelerate che hanno lo scopo di simulare il funzionamento del dispositivo in condizioni operative estreme o di sollecitarne particolari caratteristiche elettriche o strutturali. Per esempio, alcune prove riproducono il comportamento funzionale del dispositivo a una temperatura più alta che nell'applicazione reale mentre altre prove sollecitano il dispositivo in ambienti ad alta umidità relativa.
L'esperto di affidabilità, integrando informazioni sulle caratteristiche del dispositivo e sulle sue condizioni operative, definisce le prove da effettuare e, per alcune, progetta le condizioni operative.
Campioni di dispositivi sono quindi sottoposti a prova e si rileva nel corso del tempo di prova il numero dei dispositivi falliti (non più funzionanti) e i valori di un insieme di parametri elettrici che definiscono la funzionalità del dispositivo.
Con opportuni modelli statistici e un ampio insieme di conoscenze e esperienze, l'affidabilista traduce questi risultati in un insieme di indicatori numerici e di giudizi previsionali [5].
Sui dispositivi che non superano le prove viene effettuata la *failure analysis* per scoprire modo, meccanismo e cause del guasto [1].
Preliminarmente, sul dispositivo danneggiato, l'esperto di *failure analysis* misura i parametri elettrici che ne descrivono il comportamento funzionale per definire la natura della degradazione o del fallimento. Questa analisi viene effettuata su un dispositivo chiuso che può essere ancora funzionante. Utilizzando queste misure e le informazioni sulle prove di affidabilità (fallimenti e degradazioni sono strettamente correlati con le condizioni di stress dovute alla prova) l'analista è spesso in grado di formulare un primo gruppo di ipotesi e quindi di progettare i passi successivi della diagnosi.
Per esempio, un dispositivo è fallito dopo una prova in polarizzazione inversa. L'analista ipotizza la presenza di un'inversione superficiale, cioè una polarizzazione non corretta della giunzione. Questa ipotesi può essere verificata mettendo il dispositivo in un ambiente alla temperatura di 150 C *(storage)*: la degradazione scompare poichè il calore muove le cariche elettriche verso la polarizzazione corretta. In questo caso l'ipotesi di guasto può essere verificata solo in modo indiretto poichè il calore necessario per

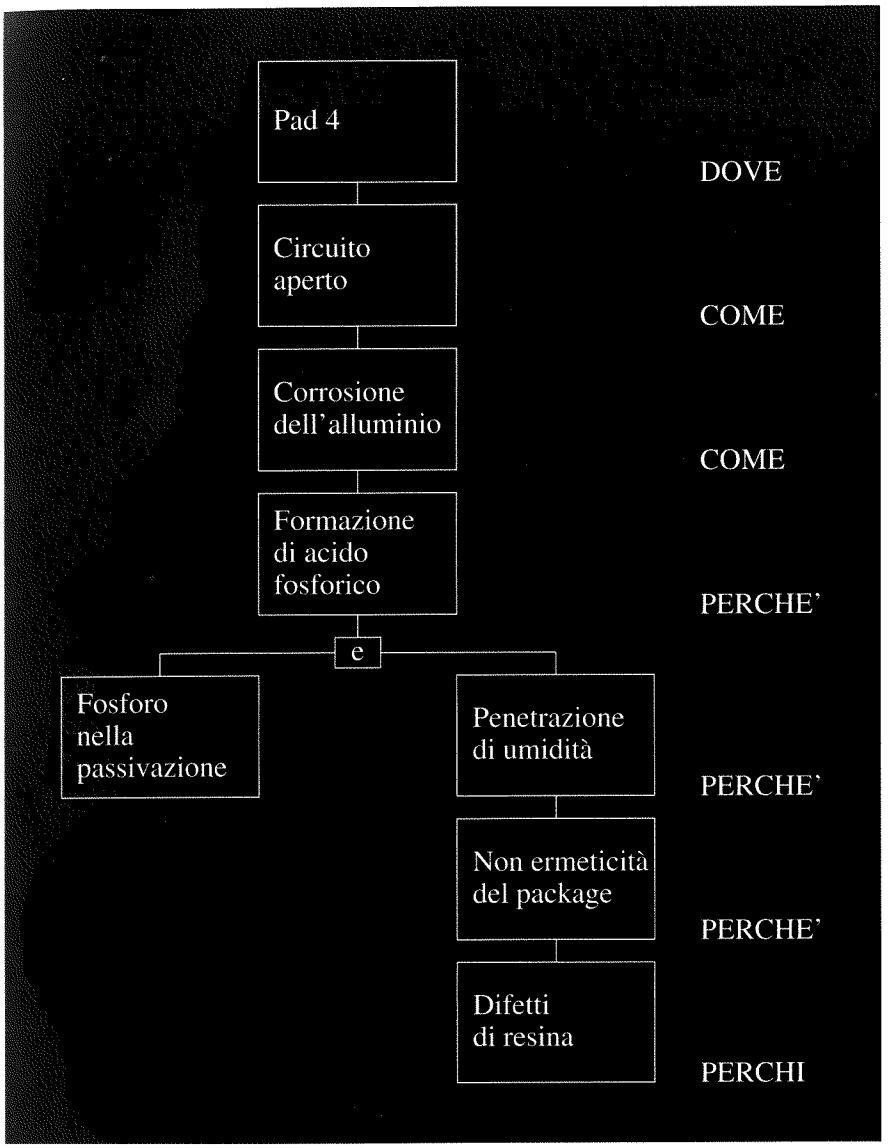


Fig. 1. - La descrizione semplificata di un meccanismo di corrosione.

l'apertura del dispositivo per analizzare la piastrina (*die*) annullerebbe la polarizzazione scorretta. L'analista semplifica la catena causale che descrive il guasto con ragionamenti di questo tipo:

Se il dispositivo si è danneggiato perchè sottoposto ad una polarizzazione inversa e la degrazione scompare dopo lo *storage*

allora si tratta di un problema di inversione superficiale.

Quando è possibile una verifica più diretta, per valutare queste prime ipotesi, l'analista decapsula il dispositivo per poter lavorare sul *die*. Un gruppo di modi di guasto, come corrosione, elettromigrazione, rottura dei fili o della piastrina di silicio possono essere osservati con un microscopio e quindi individuati a questo punto della diagnosi.

Altri tipi di guasto, come i difetti negli ossidi, richiedono diagnosi supplementari per mezzo di modelli di guasto più approfonditi. In questi casi, per cercare sul circuito zona e modo di guasto, l'esperto di *failure analysis* effettua una complessa analisi circuitale che viene descritta ampiamente in [4].

Alla fine dell'analisi l'esperto formula il suo giudizio in una sintesi che comprende queste voci fondamentali: zona del guasto, modo di guasto nei termini di misure elettriche e di evidenze fisiche, meccanismo di guasto e debolezze del circuito che hanno indotto lo scarto. La figura 1 semplifica questa catena causale descrivendo i risultati di una diagnosi di corrosione: la zona di guasto è il pad 4 del dispositivo, il modo di guasto è descritto elettricamente come circuito aperto e fisicamente come corrosione dell'alluminio. Il perchè della corrosione e le debolezze tecnologiche che l'hanno indotta sono descritte nei termini di una successione di eventi. Questa rete di relazioni causa-effetto rappresenta uno specifico e particolare processo fisico come può essere modellato da un analista e non l'insieme di tutti i possibili mecca-

nismi di guasto collegati con il modo di guasto che si sta indagando. Per esempio un circuito aperto può essere causato da diversi meccanismi di guasto come corrosione delle metallizzazioni, rottura di un filo o elettromigrazione del materiale conduttivo.
Inoltre ogni anello della catena può essere ulteriormente dettagliato attraverso altre sequenze di eventi: in ogni caso l'obiettivo finale dell'analista è quello di costruire questo tipo di descrizioni strutturate che sintetizzano gli aspetti chiave del fenomeno di degradazione.
L'esame approfondito di specifiche situazioni di guasto integra così l'analisi statistica effettuata su grandi campioni. L'insieme di queste informazioni viene utilizzato per formulare un giudizio globale sull'affidabilità dei nuovi circuiti integrati.

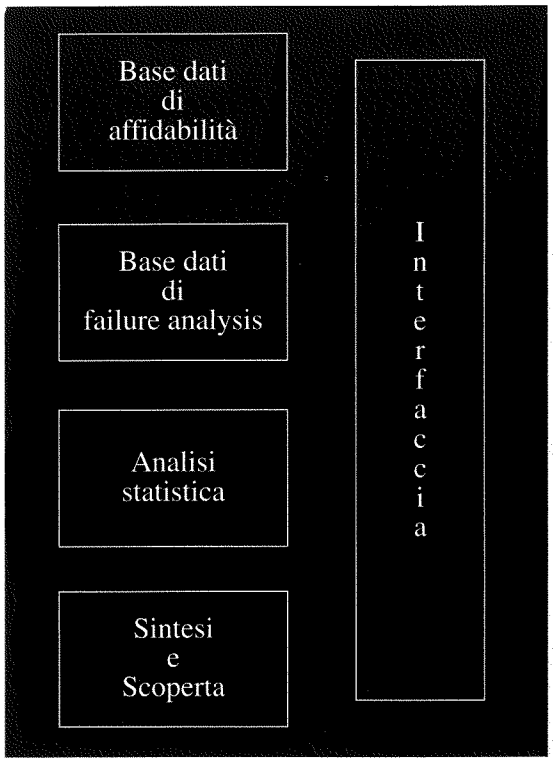


Fig. 2. - Architettura di ART.

3. Il progetto

Il sistema informativo che si è realizzato è stato pensato come un ausilio automatico alle attività del laboratorio, in grado di "mimare" alcuni aspetti di questa complessa attività e di proporre nuove metodologie prima non praticabili o non pensate.
Per adattarsi a un contesto conoscitivo così complesso una delle linee guida del progetto è stata l'integrazione di dati, conoscenze e metodologie anche molto diverse.
I dati che rappresentano il mondo reale sono, per esempio, descrizioni (caratteristiche tecnologiche del dispositivo), misure (i valori dei parametri elettrici), giudizi (i risultati della diagnosi di guasto).
Questi ultimi, in particolare, sono il risultato di ragionamenti che richiedono conoscenze di elettronica, di fisica, di chimica ecc. unitamente all'esperienza dovuta alla pratica sperimentale. Infine, anche le metodologie utilizzate per analizzare i dati sono di natura molto diversa: dalla gestione delle informazioni, all'analisi statistica, al supporto del giudizio di affidabilità e della diagnosi di guasto attraverso strumenti di simulazione [2] [4].

La progettazione del sistema informativo si è basata sul lavoro integrato del progettista/esperto di informatica, dell'utente/esperto di affidabilità e dell'utente/esperto di *failure analysis*. Tutti lavorano stabilmente nel laboratorio e questo ha consentito a tutti di seguire con continuità le fasi di sviluppo del sistema.
Una parte chiave del progetto è stata l'esplicitazione dei metodi e delle conoscenze che gli esperti (utenti) usano spesso in modo implicito, inconsapevole e non univoco.
Alcuni dettagli legati alla progettazione verranno commentati in parallelo con la descrizione delle soluzioni adottate.

Seguendo la distinzione di F. Hayes-Roth tra tecnica e tecnologia del software — "... per tecnologia intendo qualcosa che si può acquistare in forma finita, un pacchetto. Le tecniche sono i concetti sottostanti che, implementati in forma fisica, generano una tecnologia" — [6], si può dire che per la realizzazione del sistema si sono integrate tecniche di software convenzionali e innovative: basi di dati, sistemi basati su conoscenze, procedure statistiche, simulazioni.
Gli strumenti di sviluppo (le tecnologie) sono stati invece del tutto convenzionali: un DBMS gerarchico e un pacchetto statistico.
Il risultato del lavoro è ART (Advanced Reliability Tools) utilizzato ormai da alcuni anni come sistema informativo del laboratorio di affidabilità di Castelletto e recentemente esportato anche in altri laboratori di affidabilità dell'SGS-THOMSON.

4. Il sistema: architettura e basi di dati

L'architettura di ART è descritta in figura 2: basi di dati di affidabilità e di *failure analysis*, procedure statistiche, strumenti di esplorazione collegati tra di loro e verso l'esterno da opportuni moduli di interfaccia.
La distinzione tra base di dati di affidabilità e di *failure analysis* è puramente logica e dovuta alle diverse caratteristiche dei due moduli.
La BASE DI DATI DI AFFIDABILITA' contiene dati relativi ai dispo-

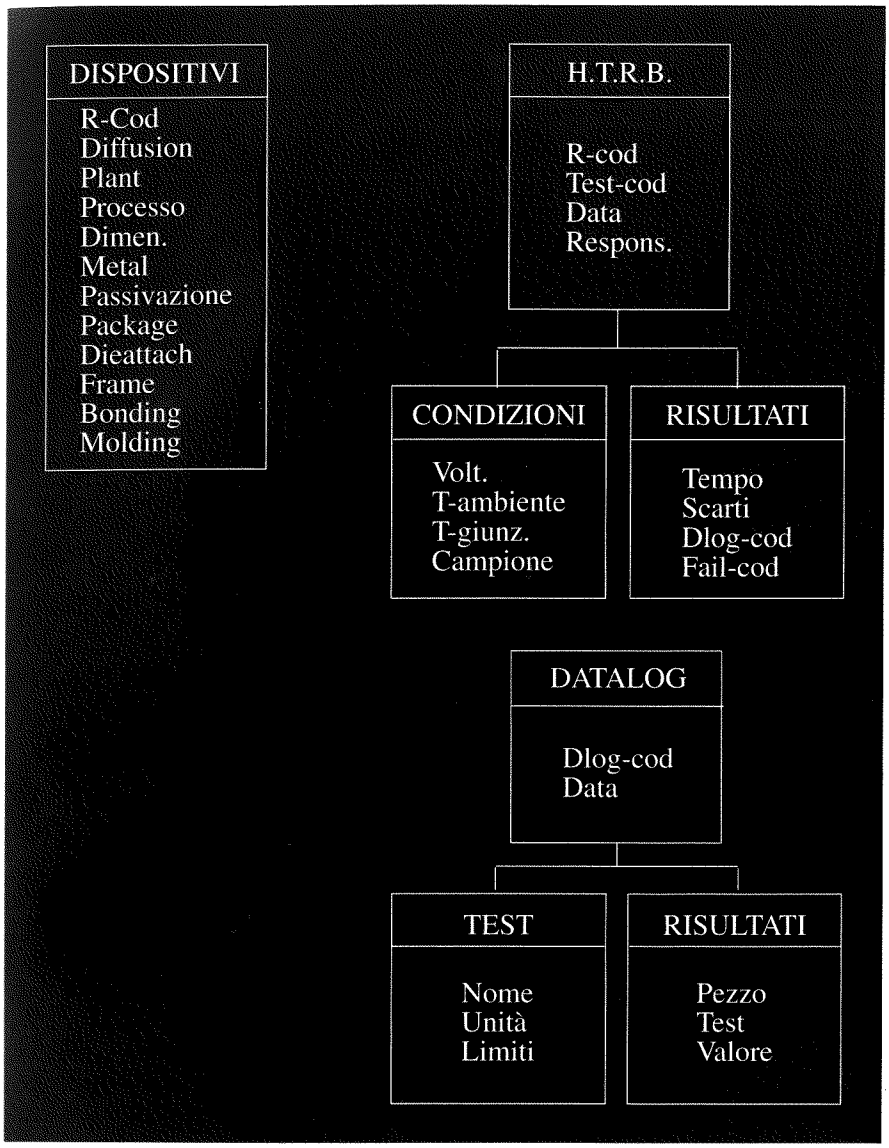


Fig. 3. - La base dati di affidabilità.

sitivi, alle prove di affidabilità e ai risultati delle prove (figura 3).

- Il punto di vista tecnologico, che descrive alcune caratteristiche del Circuito Integrato, è codificato nei campi del file DISPOSITIVI. Questi campi descrivono alcune caratteristiche circuitali, di diffusione e di assemblaggio del dispositivo.
  Il codice chiave (R-cod) identifica il campione di dispositivi utilizzato per la prova di affidabilità e è vincolato anche ai lotti di produzione (diffusione e assemblaggio). In questo modo il sistema tiene traccia di ogni variazione di risultati di affidabilità anche tra lotti diversi dello stesso dispositivo.
- La struttura del file per le prove è esemplificata con la prova di High Temperature Reverse Bias (HTRB).
  Il segmento di sinistra, che cambia con la prova, contiene la descrizione delle condizioni operative e ambientali, quali la temperatura e la tensione applicata. Il segmento dei risultati contiene, per ogni tempo di controllo, il numero di dispositivi falliti e rimanda con il campo **Dlog-cod** ai valori delle misure elettriche e con il campo **Fail-cod** ai risultati della *failure analysis*.
  Questa struttura è ripetuta per tutti i tipi di affidabilità effettuate nel laboratorio.
- Il file DATALOG contiene la descrizione e i risultati delle misure per tutti gli elementi dei campioni di dispositivi sottoposti a prova.

La BASE DI DATI FAILURE è progettata per contenere, per ogni dispositivo fallito, le relazioni causa-effetto che ne descrivono il guasto.
Gli aspetti macroscopici sono i risultati quantitativi delle misure elettriche che individuano il mal funzionamento del dispositivo (aspetti funzionali). La descrizione microscopica del guasto riproduce alcune delle caratteristiche del ragionamento causale dell'esperto. I punti chiave del suo ragionamento sono contenuti nei segmenti del data base (figura 4).

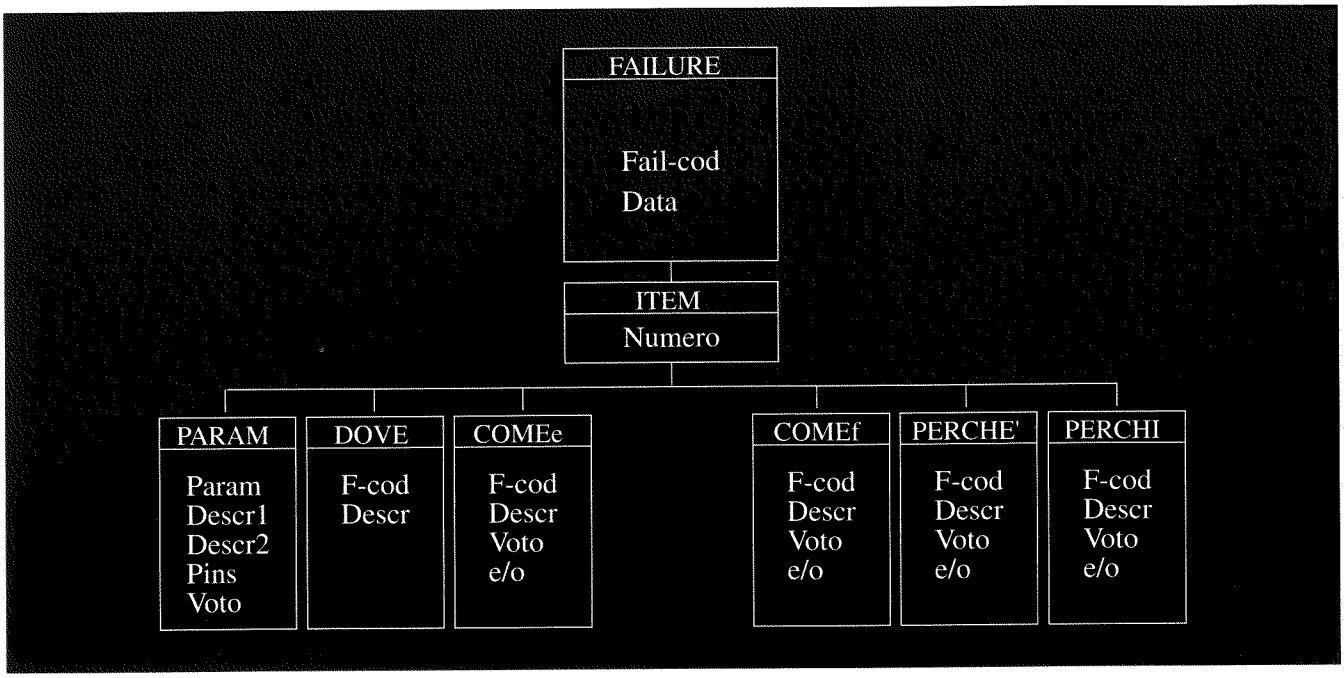


Fig. 4. - La base di dati dei guasti.

- Il segmento FAILURE contiene una chiave per collegare questi dati con quelli tecnologici e di prova e un campo per identificare il dispositivo fallito;
- I campi del segmento PARAM descrivono il danneggiamento del dispositivo in termini di degradazione dei parametri elettrici. Questi dati sono il primo insieme di informazioni note all'analista.
- I cinque segmenti DOVE, COME ELETTRICO, COME FISICO, PERCHE' e PERCHI contengono la descrizione del guasto utilizzando le chiavi descrittive di figura 1.

Per costruire le relazioni causa-effetto si utilizza un codice (**F-cod**) che definisce la posizione di ogni descrizione (contenuta in **Descr**) nella succesione degli eventi che ha portato al guasto.
Il campo **Voto** contiene la valutazione soggettiva dell'esperto sul grado di certezza della descrizione archiviata e infine il campo **e/o** viene utilizzato per connettere logicamente le descrizioni.
Per semplificare problemi di gestione dei dati e tenendo conto delle effettive esigenze dell'esperto, si sono definiti alcuni criteri generali.

— Ogni descrizione di guasto deve iniziare con un DOVE, poichè la localizzazione del guasto è un passo necessario della diagnosi.
— Zona e modo di guasto possono essere dettagliati solo con una descrizione più specifica mentre il meccanismo può essere dettagliato in modo causale, per esempio definendo i passi di un processo di danneggiamento.
A questo livello del progetto si è scelto di dettagliare solo il PERCHE', assumendo che per DOVE e COME l'esperto selezioni il livello di descrizione più significativo.
— I connettivi logici sono usati solo quando due o più descrizioni concorrono allo stesso livello nella struttura delle relazioni causa-effetto.
— Il codice è composto di cinque celle, ciascuna collegata a una chiave del data base: D=DOVE,
CE=COME ELETTRICO,
CF=COME FISICO,
P=PERCHÈ, PC=PERCHI.
Ogni segmento contiene l'intero codice. Quando una nuova occorrenza viene inserita, il puntatore della cella corrispondente viene incrementato e quando l'utente passa da un segmento all'altro il sistema punta alla cella corrispondente nel codice del nuovo segmento.
Con queste e altre regole (per maggiori dettagli si veda [3]) il sistema è in grado di archiviare descrizioni come quelle in figura 5 che traducono questo risultato finale di una diagnosi di guasto:
(Il dispositivo è fallito) alla metal. vicino al pad 7, per un circuito aperto dovuto a fusione della metallizzazione. La fusione è stata provocata dall'accensione di un transistor di potenza per una perdita di corrente tra la base e l'emettitore dovuta congiuntamente a microfratture nell'ossido per difetti della resina e alla grande dimensione del *die*.

Note di progetto: la struttura della base dati.

La struttura della base dati (quali file e quali campi nel file) è il risultato di una certa modellazione del mondo reale i cui oggetti sono, a loro volta, il risultato dell'interazione di attività conoscitive dell'uomo con entità fisiche (i circuiti integrati).
Questa interazione definisce i punti di vista e fissa i livelli di dettaglio. Per esempio la descrizione delle caratteristiche circuitali dei DISPOSITIVI è sufficiente per l'affidabilista

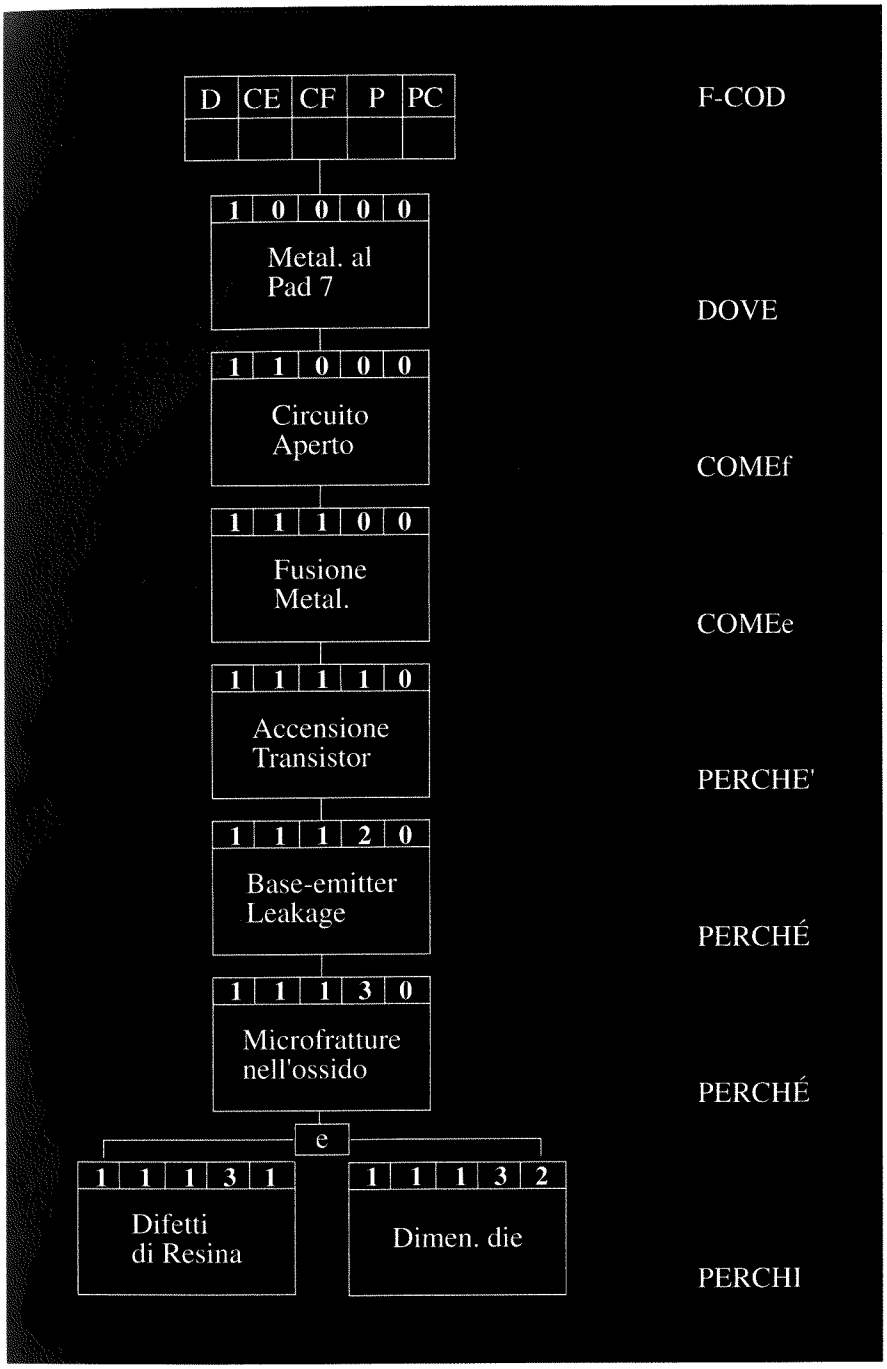


Fig. 5. Una descrizione di guasto.

ma non lo sarebbe per un progettista. Le stesse attività conoscitive si basano su metodologie non univoche e caratterizzate da molti dualismi (quantitativo-qualitativo, preciso-approssimato, macroscopico -microscopico). Si deve cioè precisare un "modello" affidabilistico del mondo reale per definirne poi un "modello" informatico. Chiarire le metodologie, definire i modelli e disegnare la struttura logica della base di dati ha richiesto, da parte del progettista del sistema, una profonda comprensione del contesto applicativo, dei risultati da raggiungere, delle risorse e delle tecnologie disponibili. In particolare, i criteri e le conoscenze che gli esperti usano spesso in modo inconsapevole e/o implicito si sono chiariti analizzando problemi concreti e "costringendo" gli esperti a esplicitare le metodologie utilizzate.

5. Il sistema: l'interfaccia con l'utente

Gli utenti del sistema sono tecnici di affidabilità e *failure analysis* con un alto livello di esperienza e competenza nel loro settore professionale ma per nulla esperti in informatica. Tutte le interfacce sono state quindi pensate per facilitare il più possibile la gestione dei dati e l'uso delle procedure.

L'inserimento dei dati è da terminale con la sola eccezione delle misure elettriche che vengono registrate su file durante la sessione di misura, "filtrate" dall'utente e poi archiviate in modo automatico.

La parte più complessa del progetto ha riguardato la gestione dei dati di *failure analysis* e il modulo di scoperta.
Per i dati di *failure analysis* l'obbiettivo principale dell'interfaccia è quello di costruire automaticamente la descrizione del guasto attraverso una sessione di gestione della base di dati.
La figura 6 descrive una sessione di lavoro.
Primo passo: definire i collegamenti con gli altri dati. L'utente inserisce il codice interno e il numero del pezzo fallito attivando i collegamenti con i dati tecnologici e con i risultati della prova di affidabilità. Questi valori sono riportati nella parte alta dello schermo.
Secondo passo: inserire la descrizione del DOVE (fig. 6a). Per la struttura che si è progettata questo passo è obbligatorio. Lo schermo di input dettaglia le descrizioni di DOVE in una parte di layout e in una parte circuitale. La parte bassa dello schermo contiene un insieme di chiavi funzionali che consentono di muoversi da un anello all'altro della catena. La chiave CE può essere utilizzata per passare dal DOVE al COME ELETTRICO e quella CF al COME FISICO (fig. 6b).
Il sistema consente anche di tornare indietro e inserire un nuovo valore di COME e/o DOVE. L'utente può seguire l'evoluzione della sessione attraverso i cambiamenti del codice prima descritto.
Terzo passo: dopo l'inserimento della descrizione del guasto (DOVE, COME) e utilizzando la chiave P si inserisce la catena di relazioni causa-effetto che descrivono il meccanismo di guasto rispondendo a una serie di PERCHÈ (fig. 6c). Il livello di dettaglio della spiegazione è lasciato all'utente che può utilizzare più volte la stessa maschera di input. Durante questa fase la parte superiore dello schermo mostra la descrizione di guasto a cui si fa riferimento e che rappresenta l'ultimo evento della catena causale.
Ultimo passo: si inseriscono, se note, le cause tecnologiche (fig. 6d) che hanno attivato il processo di danneggiamento (PERCHI).
Questa struttura di interfaccia è stata progettata per "arrampicarsi" sull'albero del guasto attraverso le chiavi funzionali: l'interfaccia incrementa e decrementa automaticamente i valori delle celle del codice (F-cod).
Inoltre, poichè la diagnosi non è un processo lineare, è possibile cancellare temporaneamente e poi recuperare alcuni anelli della catena.
Attraverso questa interfaccia la base di dati può essere continuamente arricchita dai risultati delle diagnosi di guasto effettuate nel laboratorio. I dati archiviati sono immediatamente utilizzabili per documentazioni e sono la base su cui costruire, con il modulo di scoperta, una base di conoscenze.

Note di progetto: l'interfaccia.
Per progettare l'interfaccia si è dovuto tener conto di due aspetti: la mancanza di qualsiasi dimestichezza con strumenti informatici da parte degli utenti e la necessità di supportare attività di diversa natura e complessità svolte da operatori, tecnici, laureati.
Si è scelto di sviluppare un unico sistema di interfaccia cercando di evitare soluzioni troppo rigide, subito insufficienti per gli utenti più esigenti, ma anche troppo libere e articolate, difficilmente utilizzabili da operatori.
Per verificare l'efficacia delle soluzioni adottate nel progettare la base di dati, la parte di failure analysis, relativamente complessa, è stata sperimentata "sulla carta": per un certo tempo l'esperto ha compilato dei moduli che riportavano i segmenti e i campi della base di dati.
Molta attenzione è stata dedicata all'interfaccia tra dati e procedure per evitare agli utenti qualsiasi problema e perdita di tempo nella gestione dei file.

6. Il sistema: le procedure

I dati archiviati sono analizzati utilizzando procedure statistiche e un modulo di scoperta.
— Il modulo di ANALISI STATISTICA contiene procedure orientate in particolare allo studio dell'andamento dei parametri elettrici di tutti i dispositivi del campione durante le prove di affidabilità.
Questi risultati descrivono in modo approfondito il comportamento funzionale dei circuiti durante la prova e sono utili per formulare previsioni sulle prestazioni nell'applicazione reale.
Inoltre, questo tipo di analisi arricchisce le conoscenze sui meccanismi di guasto e sulle possibili correlazioni con le variabili di processo. Per eventuali approfondimenti tecnici si rimanda a [2].
— Il modulo di SCOPERTA è stato progettato per esplorare il data base, trovare regolarità e relazioni tra i dati e, in prospettiva, costruire una base di conoscenze. La figura 7 descrive alcuni possibili cammini di scoperta.

- Dalle caratteristiche tecnologiche alle prove di affidabilità e ai risultati delle prove. L'utente individua un insieme di caratteristiche tecnologiche, estrae dalla base di dati la classe di dispositivi che le soddisfa e poi i risultati delle prove di affidabilità e i modi di guasto più frequenti. Questa sintesi di dati storici può suggerire stime *a priori* sull'affidabilità di nuovi dispositivi.
- Dalla descrizione del guasto alla prova di affidabilità e alle caratteristiche tecnologiche del dispositivo. Un altro percorso individua in primo luogo la descrizione del guasto, ricerca il tipo di prova che più frequentemente lo provoca e estrae le strutture critiche, cioè quelle che piú spesso hanno indotto la degradazione. Questi legami suggeriscono alcune ipotesi di diagnosi. Di fatto, mentre alcune di queste relazioni sono ben note (per esempio: prove in ambiente umido - corrosione), altri legami possono essere nascosti nella grande quantità dei dati e ignoti anche all'esperto.
- Tra tutti i segmenti che descrivono il guasto (DOVE, COME, PERCHÈ, PERCHI). Un'analisi approfondita di questi dati registra le regolarità tra i valori dei

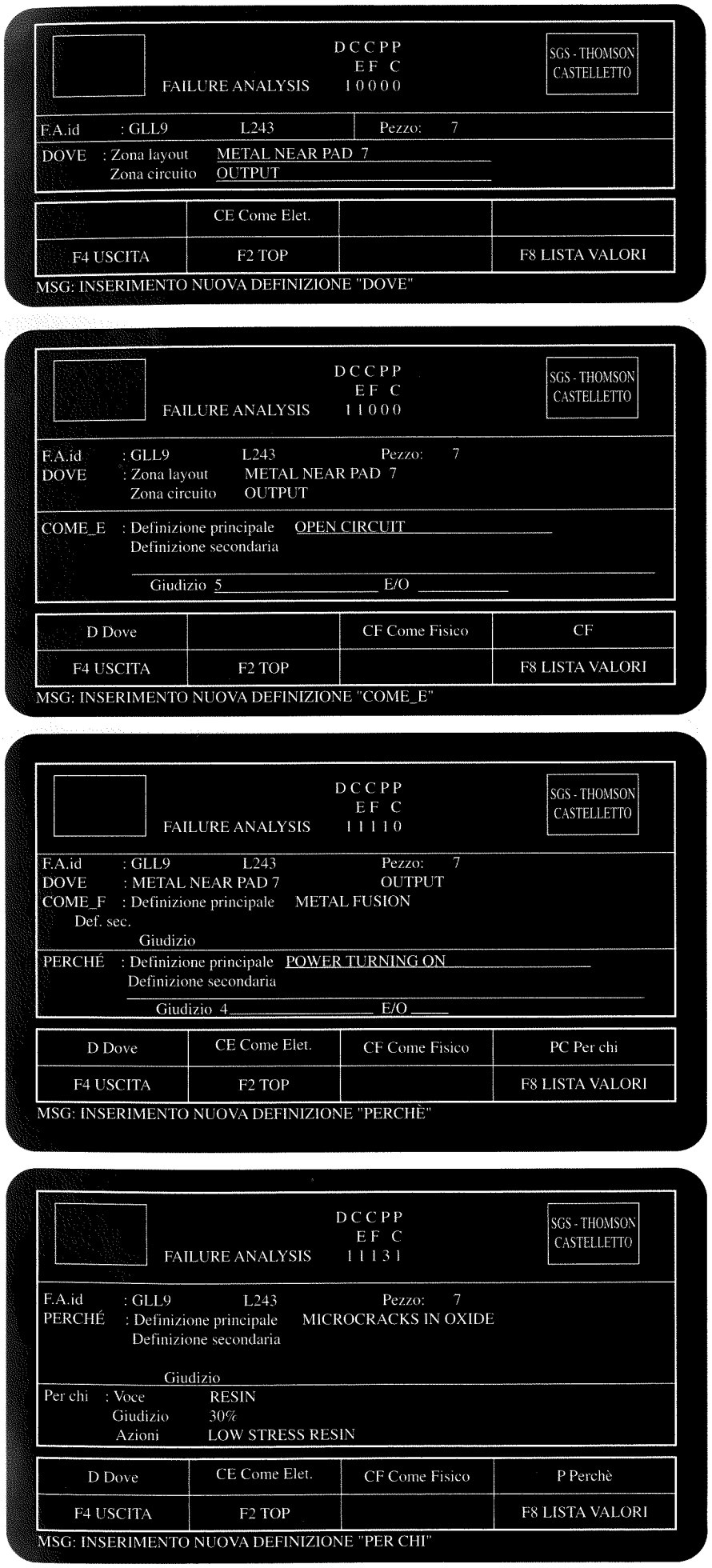


Fig. 6 - Passi di una sessione di lavoro.

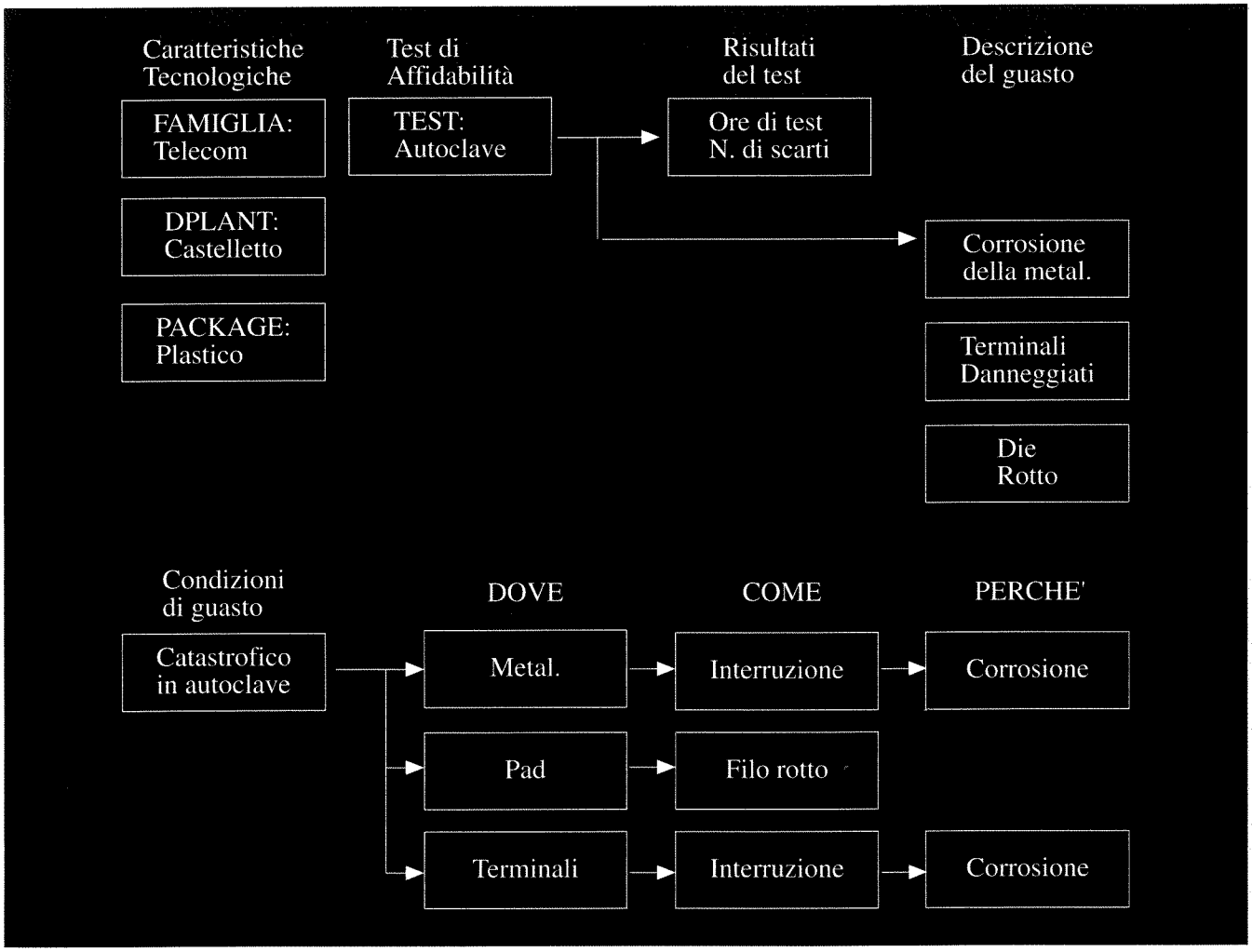
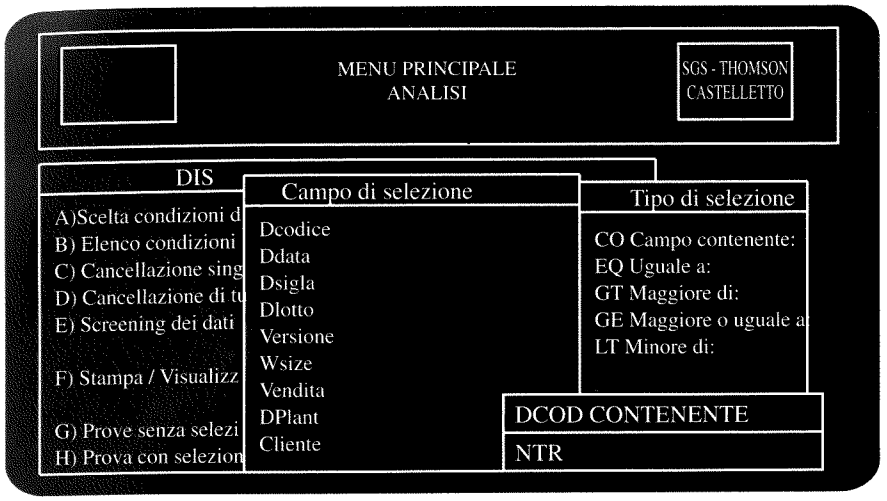


Fig. 7. Cammini di scoperta.

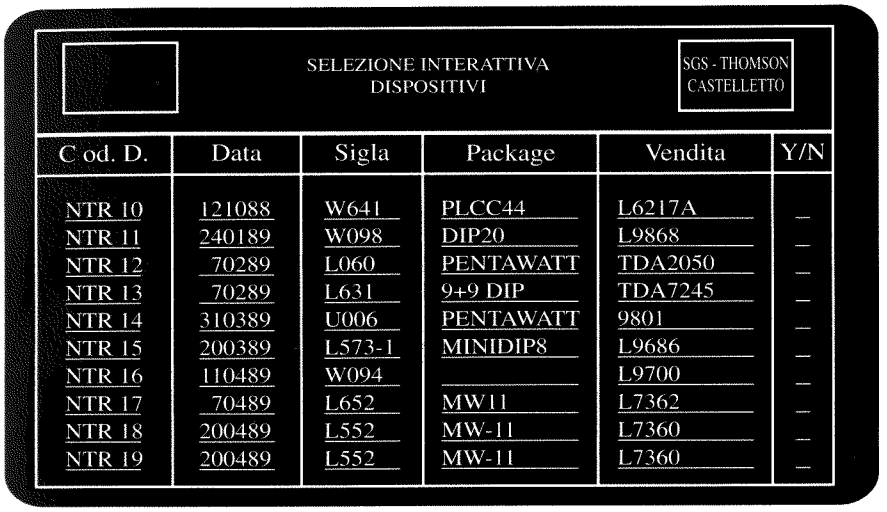
diversi segmenti costruendo un insieme di relazioni causa-effetto utili per la diagnosi.

Attualmente solo il primo cammino di scoperta è utilizzabile. La figura 8 mostra un esempio d'uso del modulo di scoperta.
L'utente seleziona i campi che definiscono la classe di dispositivi di interesse (nell'esempio quelli che contengono il codice NTR) e il sistema li estrae dalla base di dati (fig. 8a, 8b).
Poi l'utente sceglie la prova di affidabilità (HTRB) e il sistema, per i dispositivi selezionati, ricerca i risultati della prova per stimare il tasso di guasto (fig. 8c, 8d).
Queste operazioni definiscono delle relazioni del tipo: "Se la classe di dispositivi è A, allora il tasso di guasto è stimato come $\lambda 1$", immediatamente utilizzate per le valutazioni di affidabilità.

Note di progetto: scoprire conoscenze dai dati.
Il supporto ad attività di diagnosi e le stesse caratteristiche delle attività di valutazione affidabilistica hanno subito orientato verso l'uso di tecniche ricavate dall'intelligenza artificiale.
Costruire immediatamente un sistema esperto avrebbe però richiesto tempi troppo lunghi.
Le tecnologie di sviluppo (per esempio shell per sistemi esperti) erano, alcuni anni fa, più rigide e orientate prevalentemente alla gestione di basi di conoscenza e regole di inferenza.
Si è così scelto di utilizzare le tecniche dell'intelligenza artificiale nell'ambito di un sistema più convenzionale ma in grado di aiutare immediatamente tutte le attività del laboratorio, per esempio nella gestione dei dati delle misure elettriche.
Dai dati, con l'uso del modulo di scoperta, si possono estrarre relazioni empiriche di cui l'esperto verifica la significatività e che il sistema può utilizzare per costruire una base di conoscenze.
Queste relazioni/regolarità formalizzano le conoscenze più semplici e superficiali e non esauriscono la complessità dei processi conoscitivi, ma svolgono un importante ruolo di sintesi delle informazioni già disponibili.

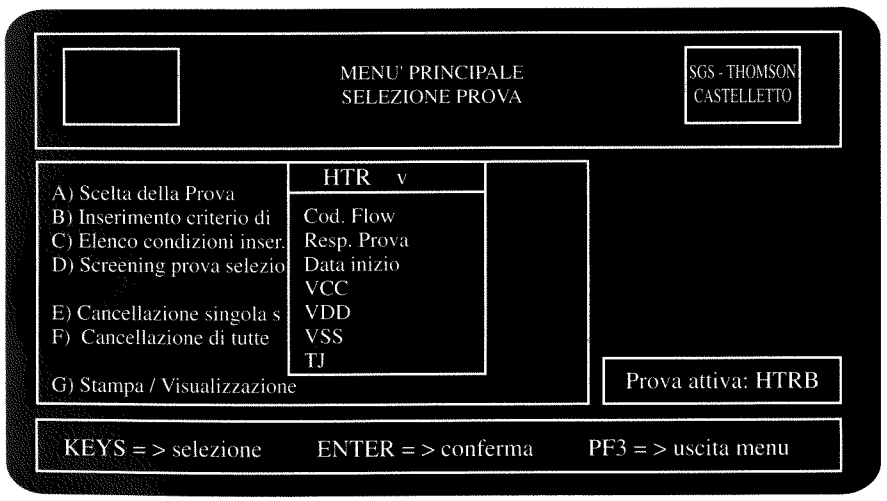


a)

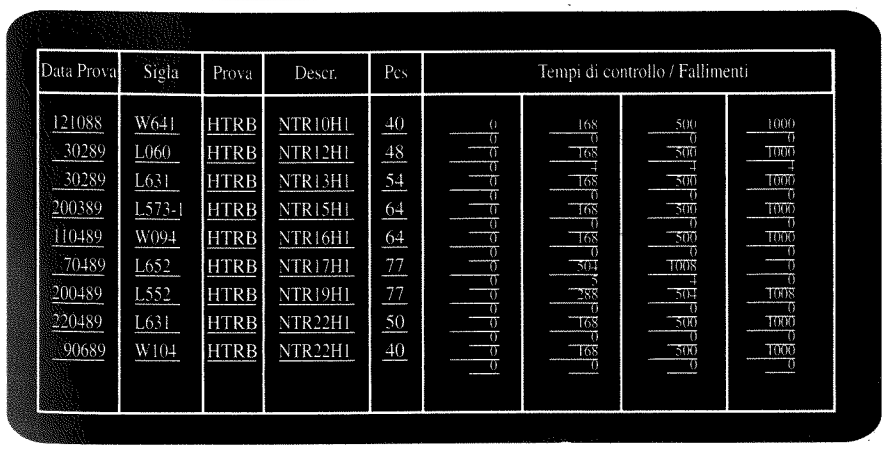


C od. D.	Data	Sigla	Package	Vendita	Y/N
NTR 10	121088	W641	PLCC44	L6217A	_
NTR 11	240189	W098	DIP20	L9868	_
NTR 12	70289	L060	PENTAWATT	TDA2050	_
NTR 13	70289	L631	9+9 DIP	TDA7245	_
NTR 14	310389	U006	PENTAWATT	9801	_
NTR 15	200389	L573-1	MINIDIP8	L9686	_
NTR 16	110489	W094		L9700	_
NTR 17	70489	L652	MW11	L7362	_
NTR 18	200489	L552	MW-11	L7360	_
NTR 19	200489	L552	MW-11	L7360	_

b)



c)



Data Prova	Sigla	Prova	Descr.	Pcs	Tempi di controllo / Fallimenti			
121088	W641	HTRB	NTR10H1	40	0	168	500	1000
30289	L060	HTRB	NTR12H1	48	0	168	500	1000
30289	L631	HTRB	NTR13H1	54	0	168	500	1000
200389	L573-1	HTRB	NTR15H1	64	0	168	500	1000
110489	W094	HTRB	NTR16H1	64	0	168	500	1000
70489	L652	HTRB	NTR17H1	77	0	504	1008	0
200489	L552	HTRB	NTR19H1	77	0	288	504	1008
220489	L631	HTRB	NTR22H1	50	0	168	500	1000
90689	W104	HTRB	NTR22H1	40	0	168	500	1000

d)

Fig. 8 - Esempio di uso del modulo di SCOPERTA.

7. Conclusioni

L'interazione tra un sistema informativo e il contesto applicativo per cui viene sviluppato è un processo in continua evoluzione.

Le caratteristiche del laboratorio hanno inizialmente definito le linee del progetto: attività valutative basate sull'integrazione di dati, conoscenze e metodologie molto diverse hanno orientato verso la progettazione di un sistema basato sull'integrazione e non sulla specializzazione.
Poi, il sistema progettato e realizzato ha profondamente modificato le attività del laboratorio sollevando gli utenti dagli aspetti più operativi, aumentandone l'efficienza e soprattutto rendendo disponibili strumenti in grado di suggerire nuovi approci valutativi.

Bibliografia

[1] E.A. Amerasekera and D.S. Campbell, *Failure mechanisms in semiconductor devices,* New York: John Wiley, 1987.

[2] P. Mauri, *"A computer system for the analysis of integrated circuit reliability"*, Quality and Reliability Engineering International, Vol. 5, No. 4, pp. 273-282.

[3] P. Mauri, *"Database structure and discovery tools for integrated circuit reliability evaluation"*, Proceedings of THE EIGHT INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA ENGINEERING - Tempe 1992.

[4] G. Boella, P. Mauri, M. Piccoli, *"Design of an automatic assistant for failure analysis of linear integrated circuits"*, Proceedings of EXPERT SYSTEM AND THEIR APPLICATIONS - Tenth International Workshop, Avignon 1990.

[5] P.A. Tobias and D.C. Trinidade, *Applied Reliability,* New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

[6] "Interview of Federick Hayes-Roth by B. Chandrasekaran", *IEEE Expert, Vol. 6, N. 5 pag. 4-10.*

Informatica e biometria per la sicurezza

CARLO FORLANI

Servizi di Telematica
Pessano (Milano)

1. Introduzione

Sono molte le situazioni e gli ambienti in cui la sicurezza richiede un'identificazione precisa e sicura delle persone: pensiamo ad esempio a chi accede a locali in cui sono depositati valori o documenti di valore strategico o molto più semplicemente a coloro che operano su archivi e informazioni gestite da computer.
Le forme consolidate di difesa da possibili intrusioni indesiderate, sia fisiche che logiche, si sono tradizionalmente basate su strumenti antichi quali le serrature e le combinazioni.
Anche se si può affermare con certezza che nel tempo la sicurezza è cresciuta, si può altrettanto realisticamente affermare che il suo livello in molti casi non è ancora soddisfacente: infatti tali sistemi di protezione difendono abbastanza bene da intrusione e conseguenti danni prodotti da persone estranee all'ambiente, ma non sono in grado di proteggere adeguatamente dalle insidie portate da personale interno, cioè personale che conosce sia le modalità organizzative che i dettagli tecnici per superare tale tipo di barriere.
Quando fatti dolosi avvengono, a posteriori si riesce in molti casi a capire "come" sia stato possibile ma ben difficilmente si è in grado di identificare il colpevole: talvolta si è in grado di identificare il complice interno all'organizzazione, ma ciò non basta.
I mezzi di protezione tradizionali quali le serrature o le combinazioni per le casseforti ad esempio, oppure le password per l'accesso a servizi informatici, non sono legati in alcun modo alle caratteristiche univoche della persona; cioè sono strumenti che chiunque, adeguatamente informato, può utilizzare senza con ciò fornire elementi alla sua identificazione.
Per un buon sistema di protezione, occorrono dunque sistemi di controllo accessi costituiti dai seguenti elementi:

1) elementi fisici di possesso (la chiave o il badge)

2) elementi di informazione (combinazioni o password)

3) elementi esclusivamente personali (ad es. il fattore DNA)

Come mostra la figura 1, risulteranno di livello superiore quei sistemi di controllo che sapranno avvalersi di tutte e tre le classi di elementi sopracitati (Zona 4), in quanto consentono di identificare esattamente le persone e non codici, carte di riconoscimento o badge. Tali sistemi sono classificabili come "verificatori biometrici".
Poichè dunque essi non permettono di trasferire ad altri l'oggetto utile per il riconoscimento, i verificatori biometrici rappresentano una scelta seria e responsabile per un affidabile controllo d'identità. Ecco perchè oggi essi diventano così importanti nell'ambito della sicurezza.
Nonostante la ricerca nel settore della biometria sia molto recente, essendosi fortemente sviluppata negli anni '80, possiamo già identificare due famiglie di verificatori biometrici:

1) La famiglia basata sulle *caratteristiche fisiche* della persona, che sono pressochè immutabili e inalterabili nel corso della vita della persona stessa;

2) La famiglia basata sulle *caratteristiche comportamentali* della persona, quindi non immutabili ma suscettibili di cambiamenti in relazione a condizioni personali o d'ambiente.

Alla luce di tale classificazione e di quanto detto in precedenza è evidente che un sistema che si basa su una caratteristica fisica peculiare della persona potrebbe essere sufficiente per verificarne l'identità anche senza far ricorso a chiavi, codici, password, mentre un sistema della seconda famiglia non può assolutamente prescindere dall'integrazione con elementi delle prime due classi.

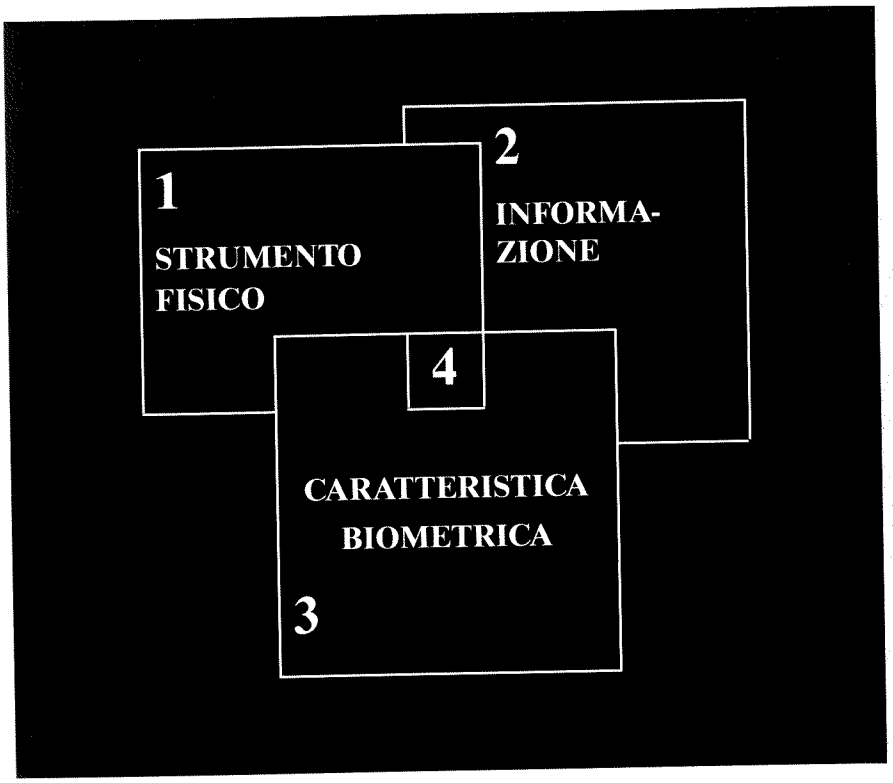


Fig. 1 - Classi di elementi utilizzati per il controllo accessi.

2. I vari sistemi di identificazione biometrica

Alla luce delle attuali tecnologie, esaminiamo quali sono le caratteristiche biometriche che concorrono a dar vita alle due famiglie citate. Alcune caratteristiche biometriche sono già gestite da prodotti offerti sul mercato o a livello di prototipo, mentre per altre non è ancora stato progettato alcun prodotto o per una complessità intrinseca difficilmente superabile o per un problema di investimenti non compatibili con quanto permesso dal mercato.
Nella prima famiglia (basata su caratteristiche fisiche della persona), gli elementi finora individuati e in grado di verificare l'identità di un individuo sono:

- l'impronta digitale
- la retina dell'occhio
- la conformazione del viso
- la geometria tridimensionale della mano
- il palmo della mano
- il fattore DNA

Della seconda famiglia invece (basata sulle caratteristiche comportamentali) fanno parte:

- la voce
- la firma
- la dattilografia
- il ritmo cardiaco

Come anticipato, non tutte queste tecniche sono gestite da prodotti già realizzati o ancora a livello di prototipi, per cui non è possibile una valutazione di quale tecnica biometrica sia migliore in assoluto dal punto di vista della sicurezza.
Anche il tipo di applicazione è molto importante nella valutazione per una scelta, in quanto diverso è il grado di sicurezza che viene normalmente richiesto in una rilevazione presenze da quello richiesto in controllo d'accesso (e anche qui conta molto stabilire a che cosa si deve accedere).
Nonostante ciò, esistono dei criteri di riferimento per una valutazione, criteri che è bene evidenziare per fornire un quadro abbastanza completo sull'argomento.

I parametri più significativi sono:

- il tasso di errore nell'operazione di riconoscimento
- la rapidità di esecuzione dell'operazione di identificazione
- la semplicità e rapidità della fase di registrazione dei dati biometrici
- la capacità di operare in rete e di garantire adeguate prestazioni in termini di rapidità di comunicazione
- il numero di utenti che si possono gestire
- il numero di operazioni che si possono effettuare in un minuto.

Altri parametri da non trascurare sono:

- il livello di accettazione da parte degli utilizzatori
- la possibilità di interagire con altri dispositivi quali: lettori di badge, stampanti, unità di archiviazione.

Relativamente al *tasso d'errore* è bene precisare che uno strumento

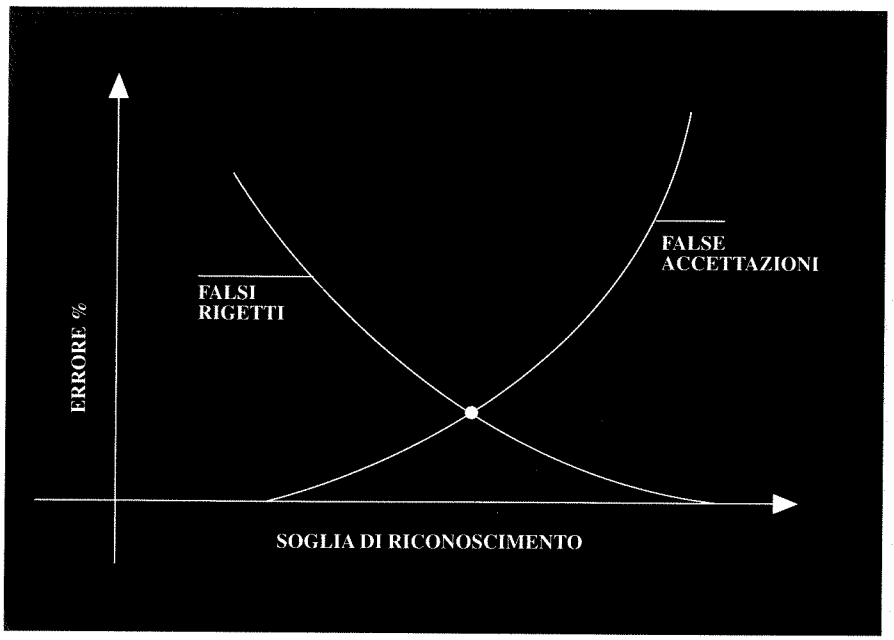


Fig. 2 - Andamento degli errori di falso rigetto e falsa accettazione in funzione della soglia di riconoscimento.

biometrico può commettere due tipi diversi d'errore, che hanno evidentemente un'incidenza molto diversa dal punto di vista della sicurezza;

1. *Errore di falsa accettazione*
Tale errore si determina quando lo strumento riconosce una persona al posto di un'altra. È il tipo di errore più grave in quanto permette il passaggio di un intruso in un luogo protetto.

2. *Errore di falso rigetto*
È l'errore commesso dallo strumento che non riconosce e quindi nega l'accesso ad una persona autorizzata.

Entrambi questi errori sono strettamente collegati al grado di precisione che viene impostato sull'apparecchio e che determina il suo responso. Quanto più è alto il grado di precisione richiesto, tanto più è improbabile l'errore di falsa accettazione; quanto più è basso il grado di precisione impostato sullo strumento tanto più diventa probabile la falsa accettazione come viene evidenziato in figura 2, dove i valori bassi della soglia di riconoscimento corrispondono ad un alto grado di precisione nell'esecuzione dell'operazione da parte dello strumento.
Gli strumenti attualmente presenti sul mercato e basati sulle diverse caratteristiche biometriche sono stati esaminati da un ente autorevole, i SANDIA National Laboratories, su incarico della Difesa degli Stati Uniti. Essi sono stati sottoposti ad un lungo periodo di prova da parte di un campione selezionato di persone che li hanno utilizzati tutti nell'arco di parecchie settimane.
Al termine di questo test, è stato sottoposto alle persone un questionario e le risposte ottenute sono state riportate a corredo dell'esame delle apparecchiature e pubblicate all'interno del rapporto emesso.
Essendo questo l'unico documento ufficiale al di fuori e al di sopra della documentazione fornita dai vari produttori, ci pare significativo fornire una breve descrizione dei sistemi presi in esame dall'indagine e dai risultati ottenuti:

Identificazione tramite la retina dell'occhio
La Società EYEDENTIFY di Portland (Oregon) ha sviluppato in vari modelli il metodo di controllo dell'identità di una persona basato sull'analisi della *retina dell'occhio* a mezzo di raggi infrarossi.
L'uso dello strumento prevede l'introduzione di un codice utente tramite badge. In base al codice introdotto, l'apparecchio individua l'immagine della retina memorizzata da utilizzare per il confronto.
L'utente deve guardare in un oculare e sovrapporre con piccoli movimenti dell'occhio due coni tridimensionali opposti con vertice in comune e di colore diverso. Raggiunta la posizione di sovrapposizione, la pressione di un pulsante attiva l'emissione di raggi infrarossi per la lettura della retina.
Anche se dalla descrizione l'operazione può sembrare abbastanza complessa, in realtà, una volta compresa la tecnica d'uso, il tempo medio di riconoscimento risulta di sette secondi, includendo l'introduzione del codice tramite badge ed il posizionamento dell'occhio.
Per l'esecuzione dell'operazione non è possibile tenere gli occhiali, mentre sono permesse le lenti a contatto.
Questo metodo è piuttosto sicuro in quanto risulta nulla la probabilità di false accettazioni per valori di soglia di precisione ben definiti, ma presenta una scarsa accettazione da parte dell'utente per la metodica d'identificazione che crea disagio e preoccupazioni per la salute.

Domanda: Quale ritenete sia lo strumento:	ALPHA	VOICEKEY	EYEDENTIFY	IDENTIX	ID3D	SIGNON	NESSUNO
1 Più facile da usare?	0-	4	2	15	35+	1	0
2 Più veloce?	1	4	1	8	35+	0-	0
3 Più lento?	38-	5	1	9	0+	24	1
4 Che Vi ha rifiutato più spesso?	11	36-	2	17	1+	6	0
5 Che Vi ha rifiutato meno?	11	6-	10	12	42+	9	0
6 Che richiede più concentrazione?	10	25-	12	6	1+	4	0
7 Che richiede più competenza?	11	23-	9	11	1+	9	4
8 Che richiede meno competenza?	5	6	4-	12	38+	6	1
9 Più frustrante da usare?	10	34-	2	12	0+	5	3
10 Più facile / piacevole?	5	2-	6	13	31+	6	1
11 Che Vi crea qualche problema di salute o di sicurezza personale?	1	0+	23-	1	5	0+	47+
12 Che crea più problemi alla Vs. privacy?	0+	1	2	3	1	16-	56+
13 Che Vi crea maggiori difficoltà di registrazione?	17	21-	1+	15	2	3	18
14 Che crea maggiori problemi di fastidio nell'uso?	5	16-	4	4	0+	2	41+
15 Migliore per un sistema di accesso a terminali?	7	4-	12	22+	18	7	9
16 Migliore per un sistema di accesso fisico?	3-	7	18	13	27+	3-	4
17 Migliore per un sistema di POS?	1	0-	13	21	11	23+	6
18 Migliore per il grande pubblico?	2-	2-	5	16	38+	3	8

Fig. 3 - Risultati del questionario sui dispositivi di riconoscimento biometrico (Fonte: Sandia National Laboratories). Nello specchietto vengono indicati, per ogni domanda, il risultato più positivo con (+) e il più negativo con (-).

Identificazione tramite le impronte digitali

La Società IDENTIX di Sunnyvale, California, ha realizzato un prodotto in grado di rilevare e confrontare le *impronte digitali*.

Anche in questo caso, l'uso dello strumento prevede l'introduzione di un codice identificativo da tastiera o da badge per individuare nel data base del sistema l'impronta memorizzata con la quale effettuare il confronto.

Una volta introdotto il proprio codice, l'utente deve posare il dito indice in una piccola vaschetta concava predisposta nello strumento e la pressione del dito attiva la lettura della sua impronta tramite raggi infrarossi.

Il tempo medio di riconoscimento risulta tra i sei e i sette secondi.

La sicurezza è garantita; su duemila operazioni effettuate, non si sono verificati casi di falsa accettazione.

Risulta invece abbastanza elevata la percentuale di falsi rigetti (9,5%).

Identificazione tramite la voce

La Società ALPHA MICROSYSTEMS di Santa Ana (California) ha prodotto inizialmente il *Voxtron* e successivamente una versione aggiornata chiamata Ver-A-Tel: si tratta di un Personal Computer dotato di una piastra opportunamente progettata per la gestione della *voce* e di programmi software di analisi della stessa.

Può agire sia su voce viva sia su linea telefonica. In entrambi i casi il sistema deve ricevere il codice identificativo dell'utente da controllare, dopo di che il sistema seleziona tra quelle registrate alcune parole che l'utente in esame deve ripetere.

Attraverso l'analisi della voce confrontata con quella registrata in precedenza, il sistema è in grado di dire se si tratta effettivamente della stessa persona. Su questo principio si basa un altro prodotto chiamato VOICE della ECCO INDUSTRIES di Danvers (Massachusset). Dal punto di vista delle prestazioni i due prodotti sono abbastanza simili e sono ancora molto lontani dai risultati ottenuti dai prodotti descritti in precedenza. Soprattutto dal punto di vista della sicurezza, manifestano un tasso d'errore ancora troppo alto.

Identificazione tramite la firma

Prodotto dalla Società AUTOSIG SYSTEMS di Irving (Texas), il SIGN/ON è un verificatore dinamico della firma. Si tratta di una tavoletta che contiene nella sua parte centrale una zona sensibile su cui l'utente appoggia il foglio di carta su cui appone la sua firma con una penna apposita collegata via cavo alla tavoletta stessa. Nella sua parte superiore contiene delle segnalazioni luminose che guidano l'utente nell'uso del dispositivo e segnalano il risultato dell'operazione. La tavoletta non può essere usata da sola, ma va collegata ad un Personal Computer cui manda i dati della firma. Sul PC un apposito software controlla i dati forniti dalla tavoletta con quelli precedentemente registrati e fornisce il risultato.

Fig. 4 - Il sistema di identificazione ID3D basato sulle caratteristiche geometriche tridimensionali della mano.

I parametri presi in considerazione sono tredici, di cui solo alcuni sono noti. Alcuni sono diretti (pressione della punta della penna, velocità di esecuzione, accelerazione, dimensioni, proporzioni, distacchi e interruzioni), altri sono compositi.
Il tempo di verifica è variabile in quanto le firme possono essere più o meno lunghe e la velocità di scrittura delle persone è diversa, però il valore medio si aggira sui 15 secondi. Il tasso di errore su un solo tentativo si aggira sul 9%; se si considerano due tentativi, la percentuale di false accettazioni diminuisce al 2% circa.
Con tre tentativi la percentuale d'errore rimane praticamente invariata.

Identificazione tramite la mano

Poichè, come risulta dal questionario di figura 3, il prodotto che ha ottenuto i maggiori consensi è l'ID3D prodotto dalla Società americana RECOGNITION SYSTEMS di San Josè (California), ci sembra opportuno dare una descrizione abbastanza completa delle caratteristiche tecniche di tale prodotto, attraverso le quali si può comprendere meglio quanto detto in precedenza sui prodotti biometrici in generale.

3. Il sistema di identificazione ID3D

L'ID3D è uno strumento di identificazione biometrica che utilizza la *geometria tridimensionale della mano* quale parametro caratteristico della persona per verificarne l'identità.
Caratteristiche del sistema sono le ridotte dimensioni (vedi fig. 4), la semplicità d'uso, l'estrema velocità operativa (meno di due secondi il tempo di risposta, indipendentemente dal grado di precisione impostato), la mancanza di parti in movimento, oltre ad un alto grado di sicurezza.
Come si può rilevare dalla fotografia, il lettore ID3D è dotato di una tastierina che serve sia per la programmazione delle funzioni dello strumento, sia per l'introduzione del codice identificativo della persona da registrare o di cui verificare l'identità. Se allo strumento è collegato un lettore di badge, il codice identificativo della persona da esaminare può essere letto direttamente dal badge, evitando all'utente il tempo di digitazione del codice e soprattutto il rischio di errore nella digitazione.
L'uso dello strumento prevede una fase di registrazione iniziale della persona.
Successivamente, lo strumento confronterà ogni volta la geometria della mano che sta leggendo con quella precedentemente registrata nella sua memoria in associazione al codice identificativo introdotto.
La fase di registrazione prevede la lettura della mano per tre volte consecutive, in quanto si presume che ben difficilmente una persona metterà la mano sempre esattamente nella stessa posizione.

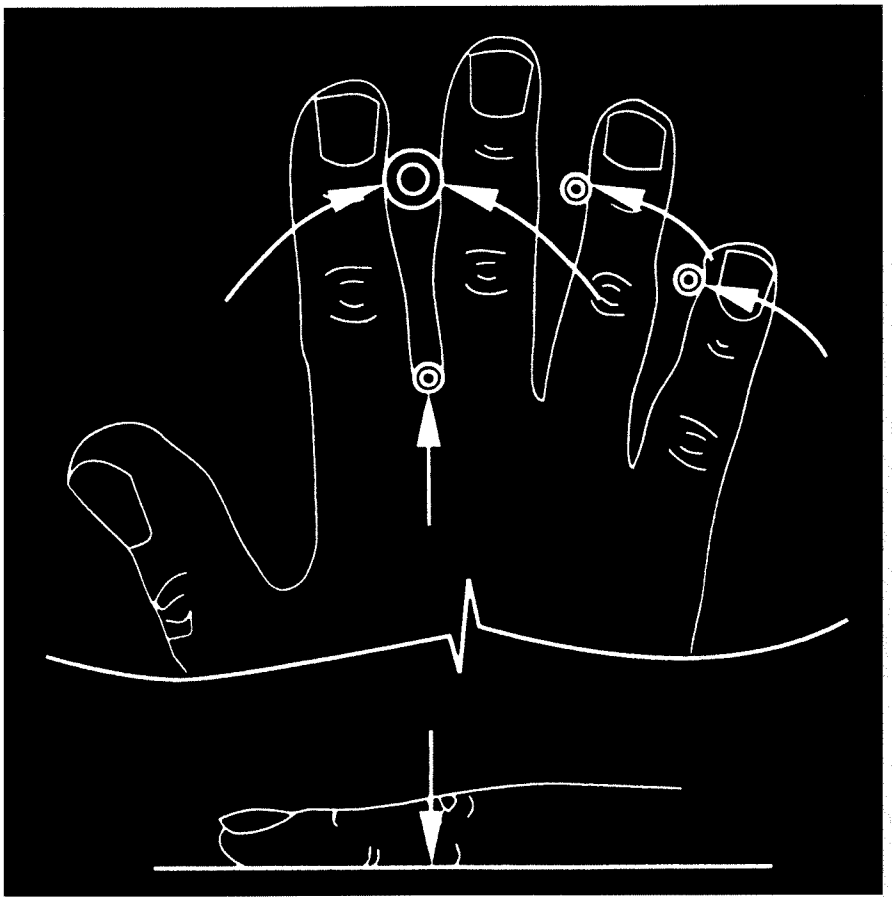


Fig. 5 - Sistema per il posizionamento della mano nel lettore ID3D.

Con queste tre letture, lo strumento determina un valore medio della geometria della mano; tale valore costituirà la cosiddetta "sagoma" di riferimento o di controllo.
L'uso dello strumento richiede pertanto la seguente sequenza operativa:

1. digitare il proprio codice sul tastierino;

2. posizionare la mano, tenendola bene appoggiata sulla superficie di controllo e spingendola contro il piolo alla base tra dito indice e medio (fig. 5).

Durante tale operazione l'utente ha a disposizione dei pioli di riferimento, fissati sul piano d'appoggio, per l'introduzione delle dita della mano e sul frontale dello strumento ha delle spie luminose (led) che rimangono accese fino a quando le dita non toccheranno correttamente i pioli.
Spenti i led, viene effettuata l'operazione di lettura che consiste nel rilevare, tramite una piccola telecamera a raggi infrarossi, le dimensioni, sui tre assi, della mano e e delle dita in particolare, tenendo conto anche dei punti di appoggio delle dita sul piano.
Lo strumento utilizza un proprio algoritmo di calcolo che rappresenta il vero segreto del prodotto e che quindi non è dato conoscere.
Possiamo però ragionare a intuito, facendo riferimento al risultato prodotto dall'operazione di lettura: occorrono solo 9 byte per identificare una mano. Un valore così basso potrebbe far pensare ad una scarsa precisione nell'identificazione; in realtà, a ben pensare, con 9 byte si rende possibile un numero estremamente elevato di combinazioni: da un punto di vista teorico sono ben $4.7 \cdot 10^{18}$.
Da ciò si deduce quanto sia importante l'algoritmo di elaborazione adottato.
Ci sono evidentemente dei punti di riferimento, chiamiamoli primari, per stabilire l'esito dell'operazione.
Se la mano letta non coincide in questi punti primari con quella registrata, sicuramente la mano letta è di un'altra persona.
Se invece tali punti primari coincidono, allora diventa decisivo il controllo dei punti secondari, che dovranno risultare coincidenti in una percentuale minima stabilita in funzione del grado di precisione impostato sullo strumento o richiesto per quello specifico utente.
Il grado di precisione permesso dallo strumento è infatti definibile sull'apparecchio in modo standard per tutti, ma può essere anche stabilito "ad presonam" in quanto per alcune persone può essere importante un'accuratezza maggiore nel controllo.
Sia nel caso di avvenuto riconoscimento che nel caso di non riconoscimento della persona, lo strumento fornisce un valore che rappresenta lo scostamento della mano letta rispetto alla sagoma registrata. Perchè avvenga il riconoscimento è necessario che il valore di tale scostamento risulti inferiore al valore della soglia di precisione standard o di quella attribuita alla persona in esame.
Lo scostamento rilevato può essere reso visibile o meno sul display del dispositivo.

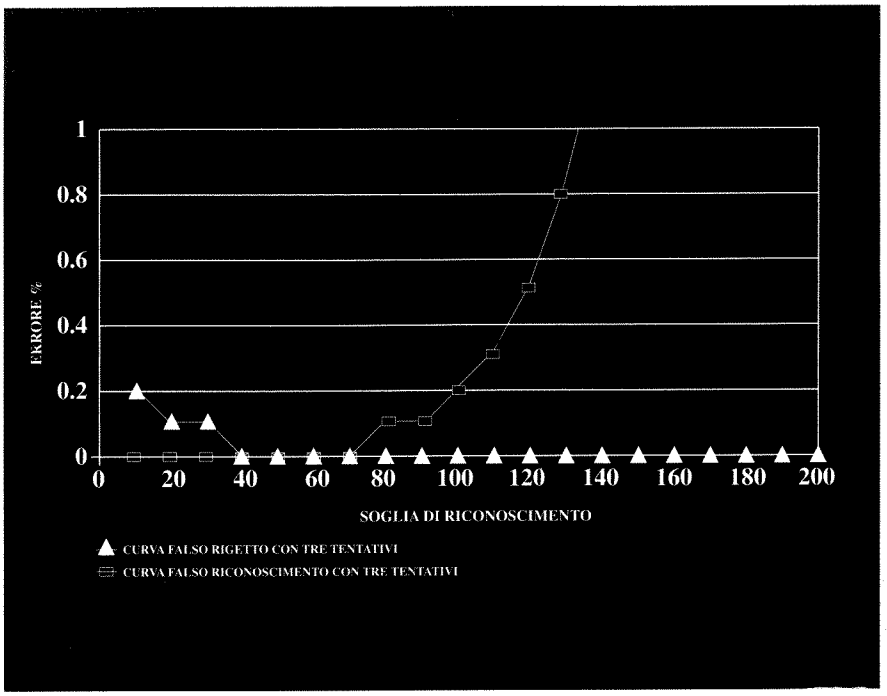


Fig. 6 - Risultati delle prove effettuate col sistema ID3D con tre tentativi (Fonte: Sandia National Laboratories).

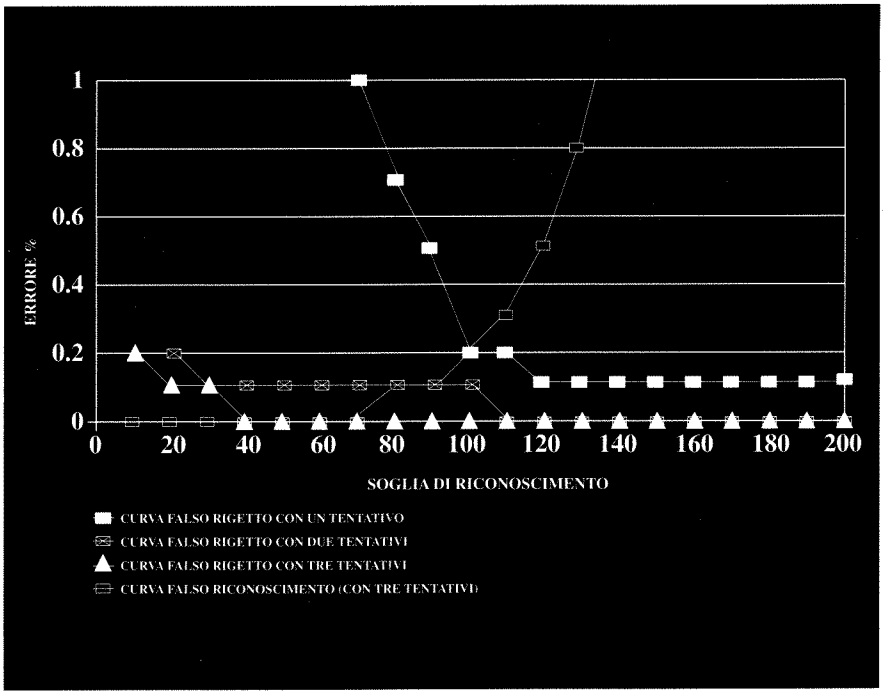


Fig. 7 - Risultati delle prove effettuate col sistema ID3D con diversi numeri di tentativi (Fonte: Sandia National Laboratories).

Dalle prove effettuate, i laboratori SANDIA hanno ricavato i grafici d'errore riportati nelle figure 6 e 7, che mostrano come siano estremamente bassi i casi di errore e soprattutto come si possano addirittura eliminare operando in modo oculato sul valore della soglia di riconoscimento.

L'ID3D, oltre al normale riconoscimento biometrico, ha tutta una serie di prestazioni funzionali che lo rendono adattabile ad ogni esigenza. In particolare, mediante una semplice impostazione da tastiera, può essere usato in *stand alone* oppure in *rete*, collegato ad un PC, ad una Workstation o ad un Host.

Quando collegato in rete, la dotazione di software di cui è fornito il sistema consente una gestione centralizzata, con un'ampia gamma di funzionalità e possibilità applicative. Per quanto riguarda le applicazioni, quelle fondamentali sono il controllo accessi e la rilevazione presenze. Ma la flessibilità del sistema consente anche altre interessanti possibilità di impiego.

Se collegato ad un computer (che può essere un normale PC), il sistema non solo è in grado di rilevare il flusso delle persone in transito, ma anche ogni tentativo fallito. Infatti si può registrare la sagoma di chi ha tentato un accesso non autorizzato.

Ciò permette una identificazione quasi certa quando si tratti di personale interno.
Nell'uso per la rilevazione delle presenze, il sistema offre evidenti vantaggi non solo se confrontato col vecchio cartellino ma anche rispetto ai più moderni badge, in quanto consente l'identificazione certa della persona.
Inoltre, tramite il collegamento a un PC, rende disponibili per ulteriori elaborazioni i dati rilevati, in particolare per il computo di paghe e stipendi. A tale scopo, è stato sviluppato un software che consente un facile aggancio dei dati raccolti ai programmi per la gestione amministrativa del personale.
La praticità e l'economicità del sistema ID3D lo rendono interessante non solo per le aziende o per applicazioni (ad esempio, installazioni militari) in cui occorre il massimo di sicurezza, ma anche per gli ambienti più vari.
Per citarne alcuni, può essere utilizzato per evitare abusi nell'accesso alle mense universitarie oppure per controllare che certi servizi sanitari (ad esempio cure termali) siano usufruiti da chi ne ha effettivamente diritto.
Il fatto che il sistema richieda un numero molto basso di caratteri (solo 9 byte, contro le centinaia degli altri metodi) significa efficienza e velocità nella trasmissione dei dati su rete. È questa una importante proprietà che, unitamente alle caratteristiche di sicurezza e flessibilità già illustrate, lascia prevedere un ampio sviluppo di questo sistema di identificazione personale.

Bibliografia

[1] James P. Holmes, Russel L. Maxwell, Larry J. Wright, *"A Performance Evaluation of Biometric Identification Devices"*, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM 87185, July 1990.

[2] SECURTECH, *Atti della conferenza*, Washington D.C., 7-9 Aprile 1992.

L'informatica per il territorio

RENZO MARIN

Bull Italia
Uff. Sistemistico Regione Veneto
I.A.T.F. - Università degli Studi di Firenze

1. Introduzione

Nell'ultimo decennio le problematiche inerenti la qualità dell'ambiente e la corretta fruizione delle risorse primarie, rinnovabili e non, hanno assunto sempre più un ruolo di primo piano nella definizione delle linee politiche di pianificazione e d'intervento sul territorio.
Le gravi problematiche ambientali planetarie - le piogge acide, l'effetto serra, la riduzione delle superfici forestali... - e l'esperienza quotidiana - l'inquinamento atmosferico, lo smaltimento dei rifiuti, l'urbanizzazione incontrollata... - hannno via via contribuito al diffondersi della coscienza della necessità di gestire razionalmente le risorse territoriali disponibili, nel rispetto degli equilibri ecologici e degli specifici caratteri strutturali.
Questa volontà ha comportato, innanzi tutto, la necessità di integrare e saldare "la conoscenza" con "l'intervento", al fine di una ottimizzazione funzionale e di una riqualificazione complessiva della realtà ambientale in cui si intende agire.
Ciò sta realizzando, a vari livelli territoriali, una nuova domanda di strumenti e di servizi informatici e, in primo luogo, di strutture di Monitoraggio Ambientale e di Sistemi Informativi Territoriali (chiamati anche GIS: Geografic Information Systems), atti a guidare la definizione di modelli gestionali capaci di valorizzare pienamente le risorse ambientali disponibili.
L'obiettivo è quello di poter garantire al meglio la stabilità ambientale, la salute del cittadino e, nel contempo, rispondere in modo adeguato alle diverse esigenze economiche e culturali della collettività.

2. I Sistemi Informativi Territoriali

Per poter definire e gestire interventi sul territorio in modo razionale ed adeguato, risulta indispensabile possedere una conoscenza della realtà con cui si va ad interagire, quanto più possibile globale, attuale e approfondita.
Quando una amministrazione con giurisdizione territoriale persegue obiettivi di corretta e proficua gestione delle risorse disponibili, è necessario dotarla tecnicamente di adeguati apparati capaci di:

— rilevare con sufficiente continuità i dati e le informazioni territoriali e ambientali (fisiche, biologiche, economiche e sociali) necessarie per disporre di un quadro esauriente sulla realtà da governare;
— organizzare e memorizzare queste informazioni in Banche Dati razionalmente strutturate;
— fare interagire tali informazioni con altre eventualmente provenienti da enti, strutture ed organizzazioni operanti a livello inferiore o anche superiore;
— elaborare questo patrimonio conoscitivo su base:
  • attuale (elaborazioni matematico-statistiche descrittive)
  • previsionale (elaborazioni secondo modelli evolutivi);
— aggiornare costantemente tale patrimonio, mediante raccolte-dati effettuate con continuità.

Si tratta in sostanza di realizzare un Sistema Informativo "Integrato".
La caratteristica di integrazione, consiste nelle capacità di relazionare informazioni e dati di diversa origine e formato (ad es. dati da satellite con dati da rilievi di campagna; dati raster con dati vector, con informazione alfanumerica etc) e, soprattutto, di diversa natura (ad es. dati biologici - capacità di produzione di biomassa relativa ad un determinato soprassuolo - con informazioni infrastrutturali - grado di viabilità esistente in quell'area specifica), così da facilitare una ottimizzazione informativa intrinseca del sistema atta a favorire, ad esempio, una migliore valutazione tra interventi di governo prospettabili ed effettive difficoltà tecniche per la loro realizzazione.
Quando poi la maggioranza dei dati gestiti da un Sistema Informativo è caratterizzata dall'avere un riferimento topografico, allora si ha a che fare con un Sistema Informativo Territoriale (S.I.T.).
Questi tipi di sistemi si basano su Banche Dati geografiche, nelle quali generalmente coesistono:

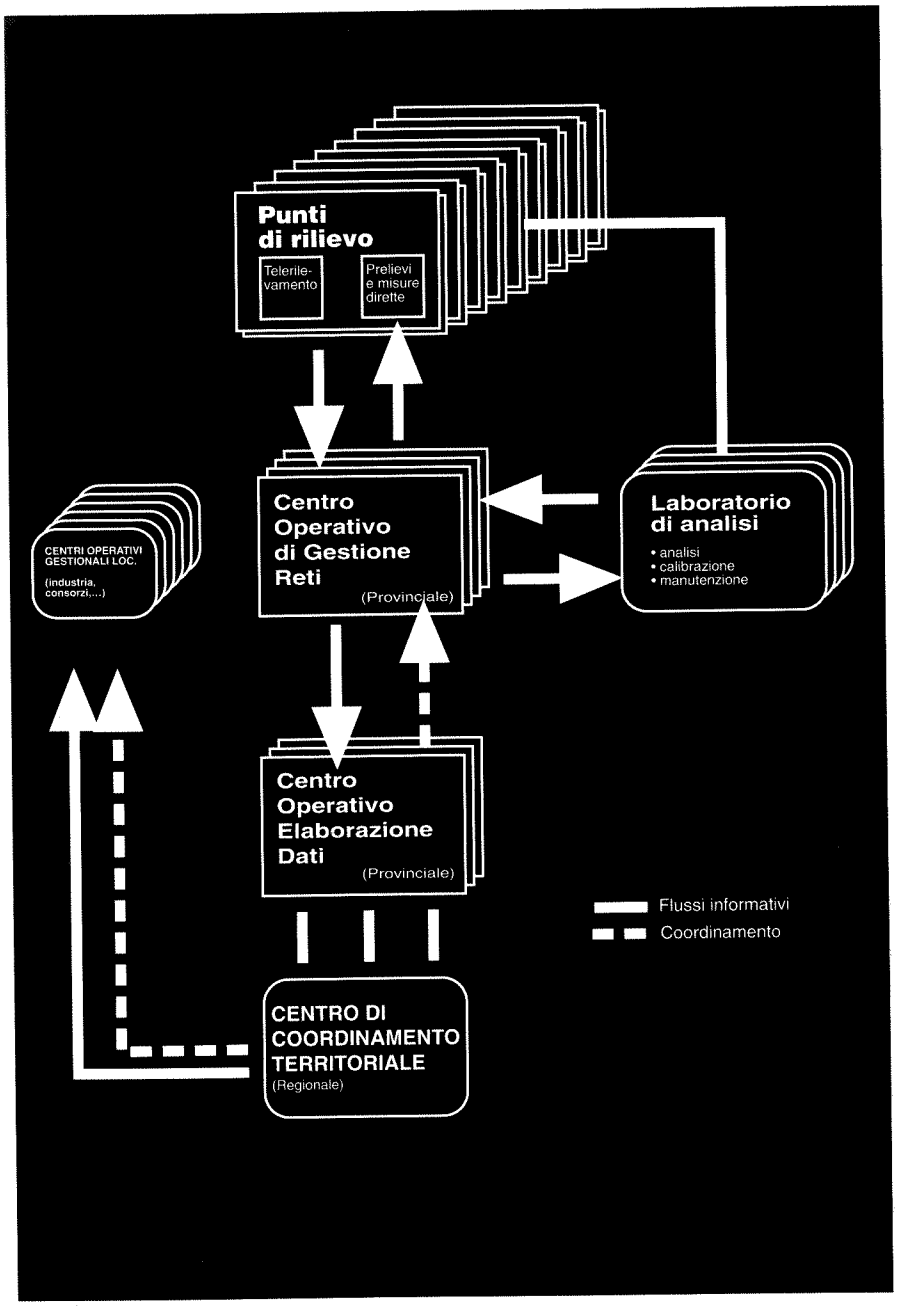


Fig. 1 - Struttura di una generica rete di monitoraggio a carattere regionale. Lo schema risulta conforme alle indicazioni dall'Istituto Superiore di Sanità per le reti di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico. Nelle "Postazioni periferiche di rilevamento" (o punti di rilievo) vengono effettuate le misurazioni in modo diretto o tramite sistemi di telerilevamento; i "Laboratori", oltre alle analisi di eventuali campioni prelevati, sovraintendono anche alle attività di manutenzione ordinaria e straordinaria delle strumentazioni e dei sensori; i "Centri Operativi di Gestione delle Reti", cui fanno capo più postazioni di rilevamento, rivestono responsabilità tecnico-gestionali di controllo, relativamente al funzionamento della rete di monitoraggio, e sono direttamente connessi con i "Centri Operativi di Elaborazione Dati" che curano la raccolta, la validazione e l'elaborazione dei dati, nonchè servizi locali di allerta ambientale. Infine, vi è un "Centro di Coordinamento", con compiti di supervisione e diffusione dell'informazione verso centri operativi gestionali locali.

— archivi elettronici a carattere numerico;
— archivi elettronici a carattere geometrico.

Gli archivi a contenuto numerico descrivono topograficamente le informazioni organizzate in base al carattere geometrico (limiti amministrativi, idrografia, viabilità).
Dalle elaborazioni di riferimento e di correlazione tra le informazioni contenute nelle Banche Dati Territoriali ed i dati raccolti in quelle Geografiche, è possibile ottenere sintesi statistico-descrittive e grafiche sotto forma di tabulati e diagrammi a riferimento spaziale-temporale e, in particolare, realizzare Carte Tematiche in modo completamente automatizzato ed oggettivo.
A tale proposito va subito rilevato come la Cartografia Automatizzata stia avendo sempre più larga diffusione: la possibilità di produrre cartografia mediante gestione elettronica dei dati su elaboratore e loro restituzione con periferiche specializzate (plotter a penna, plotter elettrostatici etc), ha già trovato vasto impiego in catasti urbani, inventari agricoli e forestali, nonchè nella descrizione di reti tecnologiche (acqua, luce, gas, telefono) ed altri servizi.
Va comunque sempre tenuto distinto il significato di "Sistema per la Cartografia Automatizzata" da "Sistema Informativo Territoriale": se è vero che il secondo include necessariamente il primo (in quanto la georeferenzazione del dato è conditio sine qua non perchè esso sia effettivamente "Territoriale") non è affatto detto il contrario.
Un Sistema per la Cartografia Automatizzata può infatti processare

VARIABILI CHIMICHE	PRINCIPIO FUNZIONAMENTO SENSORE
SO_2	Fluorescenza pulsata
H_2S	Convertitore catalitico e misura SO_2
$NO-NO_2-NO_X$	Chemioluminescenza (reazione NO con O_3)
O_3	Fotometria U.V.
CO	Assorbimento raggi infrarossi
Idrocarburi non metanici	Filtro catalitico, con rilevatore riscaldato e generatore di idrogeno
Idrocarburi totali	Fotoionizzazione
Polveri	Misura radiometrica
Struttura fisico - chimica dimensione di fumi	Analisi della retrodiffusione delle particelle (Lidar) e analisi spettrale delle concentrazioni di inquinamenti gassosi (spettrometro a correlazione di maschera)
Concentrazione al suolo di inquinanti tossici (SO_2, NO_2)	Spettrofotometria a correlazione di maschera, con confronto delle concentrazioni di SO_2 e NO_2

Fig. 2 - Tipologie di sensori generalmente utilizzati in reti automatizzate di monitoraggio. I sensori a telerilevamento consentono misurazioni a distanza dei livelli di inquinamento atmosferico, a partire dall'analisi di determinate caratteristiche fisiche.

informazioni grafico-territoriali indipendentemente dall'appartenenza o no ad una struttura informativa territoriale (cioè ad una struttura con caratteristiche di continuità di rilievo ed interpretazione, per finalità di governo come sopra descritto) limitandosi solo a produzioni cartografiche a se stanti, inerenti tematiche di sintesi o da incrocio.
La stessa cosa vale per i cosidetti "Sistemi di Monitoraggio", dove il monitoraggio (attività di controllo e verifica di un determinato fenomeno/evento tramite sensori specializzati o rilievi analitici periodici) può entrare o no a far parte di un Sistema Informativo Territoriale come momento di conoscenza e di verifica (vedi seguito).
Purtroppo spesso si equivoca: si fanno passare per Sistemi Informativi Territoriali semplici strutture che fanno solo Cartografia Automatizzata, oppure Reti di Monitoraggio che unicamente raccolgono e evidenziano dati ambientali; spesso si parla di Monitoraggio quando ci si riferisce a carte tematiche di sintesi occasionali etc.

3. Struttura generica di un Sistema Informativo Territoriale

Da un'ottica operativa, sotto cioè un punto di vista propriamente progettuale, la composizione di un Sistema Informativo Territoriale può essere distinta secondo tre livelli o fasi di realizzazione, cui fanno capo diversi insiemi di attività.
I tre livelli sono: *conoscitivo, interpretativo* e *informatico* (in senso stretto).

A) Livello conoscitivo

A questa fase/livello fanno capo tutte le attività riguardanti la raccolta dei dati territoriali necessari alla produzione del quadro informativo di riferimento del sistema.
Indipendentemente dalla loro origine, le informazioni raccolte, per essere effettivamente significative all'interno di un SIT, devono provenire da attività permanenti di rilievo (dati aggiornabili e aggiornati nel tempo, attraverso rilevamenti periodici).
L'attualità delle informazioni è infatti elemento indispensabile affinchè un Sistema Informativo non scada di funzionalità, sia strategica che operativa: esso infatti deve essere in grado di fornire quadri aggiornati sullo stato del territorio e delle sue risorse primarie per consentire la valutazione delle possibili scelte di intervento, nonchè la verifica delle stesse.
Dette attività possono essere grosso modo distinte in:
— attività inventariali
(o catastali o di rilievo diretto);
— attività di telerilevamento.

Le *attività inventariali* (o catastali), qualsiasi esse siano (rilievi stazionali, infrastrutturali, produttivi, economici etc; di misurazione, di stima, da questionario etc) sono il risultato di rilievi diretti.
Come tali le informazioni possono essere il risultato di una raccolta di dati "originali" o "derivati" da documenti già esistenti (ad es.: piani d'assestamento, piani di bonifica etc).

BANDA	INTERVALLO SPETTRALE (micron)	NOME INTERVALLO	DIMENSIONE PIXEL (m)	NUMERO BIT
MSS				
1	0.50-0.60	verde	59×79	7
2	0.60-0.70	rosso	59×79	7
3	0.70-0.80	infr. vicino	59×79	7
4	0.80-1.10	infr. vicino	59×79	6
TM				
1	0.45-0.52	blu	30×30	8
2	0.52-0.60	verde	30×30	8
3	0.63-0.69	rosso	30×30	8
4	0.76-0.90	infr. vicino	30×30	8
5	1.55-1.75	infr. medio	30×30	8
6	2.08-2.35	infr. medio	30×30	8
7	10.4-12.5	infr. termico	120×120	8
HRV				
1	0.50-0.59	verde	20×20	8
2	0.61-0.68	rosso	20×20	8
3	0.79-0.89	infr. vicino	20×20	8
4	0.57-0.73	pancromatico	10×10	8
AVHRR				
1	0.58-0.68	arancio-giallo	1100×1100	10
2	0.72-1.10	infr. vicino	1100×1100	10
3	3.55-3.93	infr. medio	1100×1100	10
4	10.3-11.3	infr. termico	1100×1100	10
5	11.5-12.5	infr. termico	1100×1100	10

Fig. 3 - Principali caratteristiche di alcuni sensori satellitari per il telerilevamento territoriale.
Lo MSS (MultiSpectral Scanner), sensore installato a bordo dei satelliti della serie Landsat, consente l'acquisizione di immagini di una stessa porzione di territorio ogni 18-16 gg.; data la risoluzione relativamente bassa, è adatto a rappresentare evoluzioni storiche di territori regionali a scala 1:250.000.
Il TM (Thematic Mapper) è installato, assieme allo MSS, sui satelliti Landsat 4 e 5, attualmente operativi; è adatto alla produzione di cartografia tematica alle scale 1:100.000 e 1:50.000.
La HRV (High Resolution Visible) equipaggia il satellite territoriale SPOT, e permette di osservare qualsiasi zona della terra con una periodicità effettiva variabile da uno a pochi giorni; a seconda delle bande utilizzate e della loro risoluzione è possibile realizzare carte tematiche in scala 1:50.000 e 1:25.000.
Infine l'AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), installato sui satelliti NOAA, consente di acquisire immagini ad alta frequenza (ogni 6 ore) per grandi porzioni di territorio, con possibilità di produrre cartografia a scala 1:500.000.

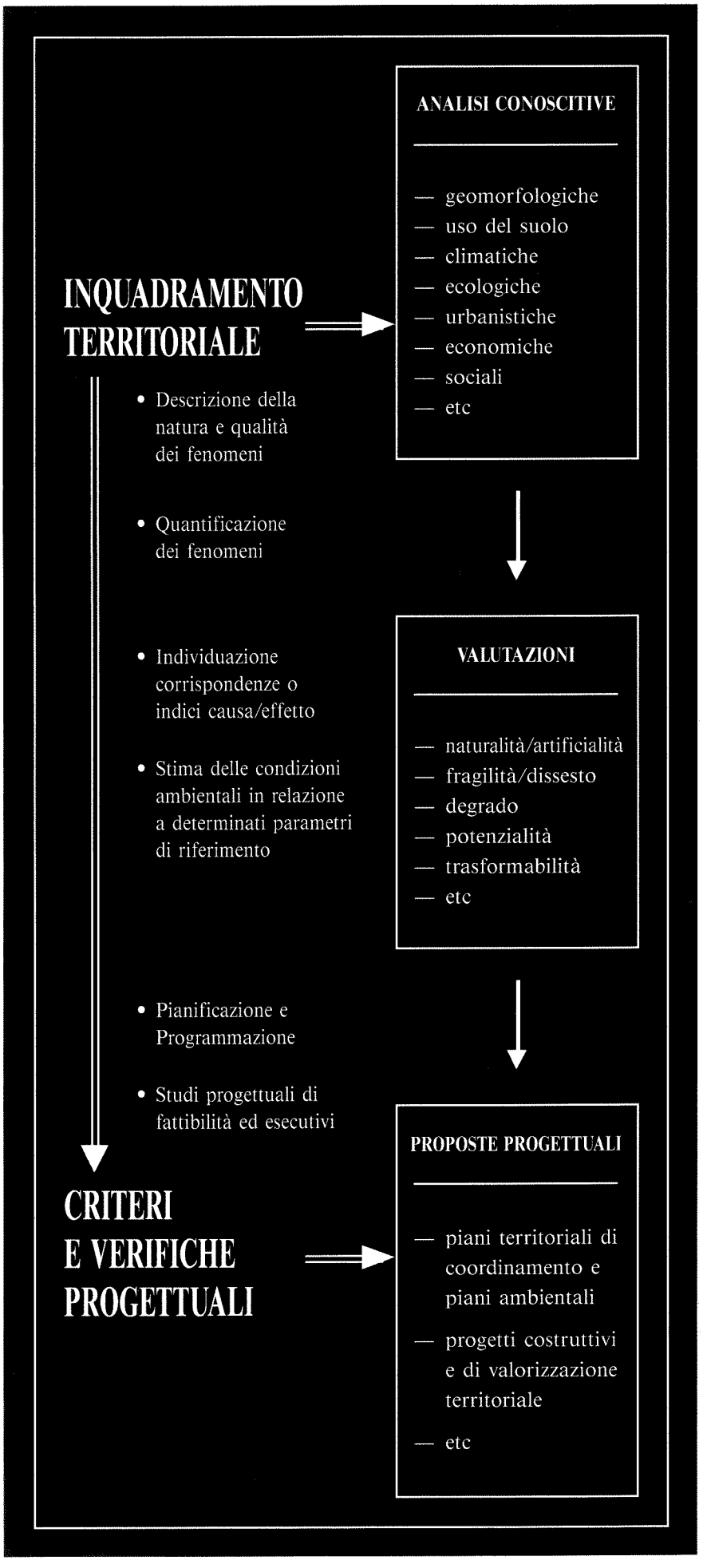
Talora il rilievo viene effettuato con particolari strumenti atti a stimare il fenomeno indagato in modo derivato, a partire da sue caratteristiche fisiche secondarie: è il caso degli apparati di rilievo basati sulla spettrofotometria di massa o sull'uso del laser (ad esempio il LIDAR), che vengono utilizzati per determinare il livello/carico di determinati inquinanti e operare prospezioni di fumi. Stesse tecnologie, o similari, vengono impiegate anche all'interno di sistemi di telerilevamento.

Alla definizione di *telerilevamento* fanno capo quell'insieme di tecniche, strumenti e mezzi interpretativi con i quali è possibile effettuare delle misure in senso fisico (e eventualmente chimico per derivazione) e quindi formulare dei giudizi su oggetti posti a distanza dall'osservatore.

Queste tecniche vanno sempre più assumendo importanza fra le nuove metodologie di indagine territoriale, in quanto in grado di garantire, in primo luogo, un determinato standard qualitativo, nonchè l'attualità delle informazioni acquisite all'interno delle Banche Dati di un Sistema Informativo.

Il telerilevamento viene generalmente distinto in: terrestre, atmosferico, spaziale.

Fig. 4 - Fasi e attività operative di analisi e gestione territoriale.
L'obiettivo di pianificazione, controllo e valutazione degli impatti ambientali richiede innanzi tutto la necessità di saldare la "conoscenza" con l'"intervento".



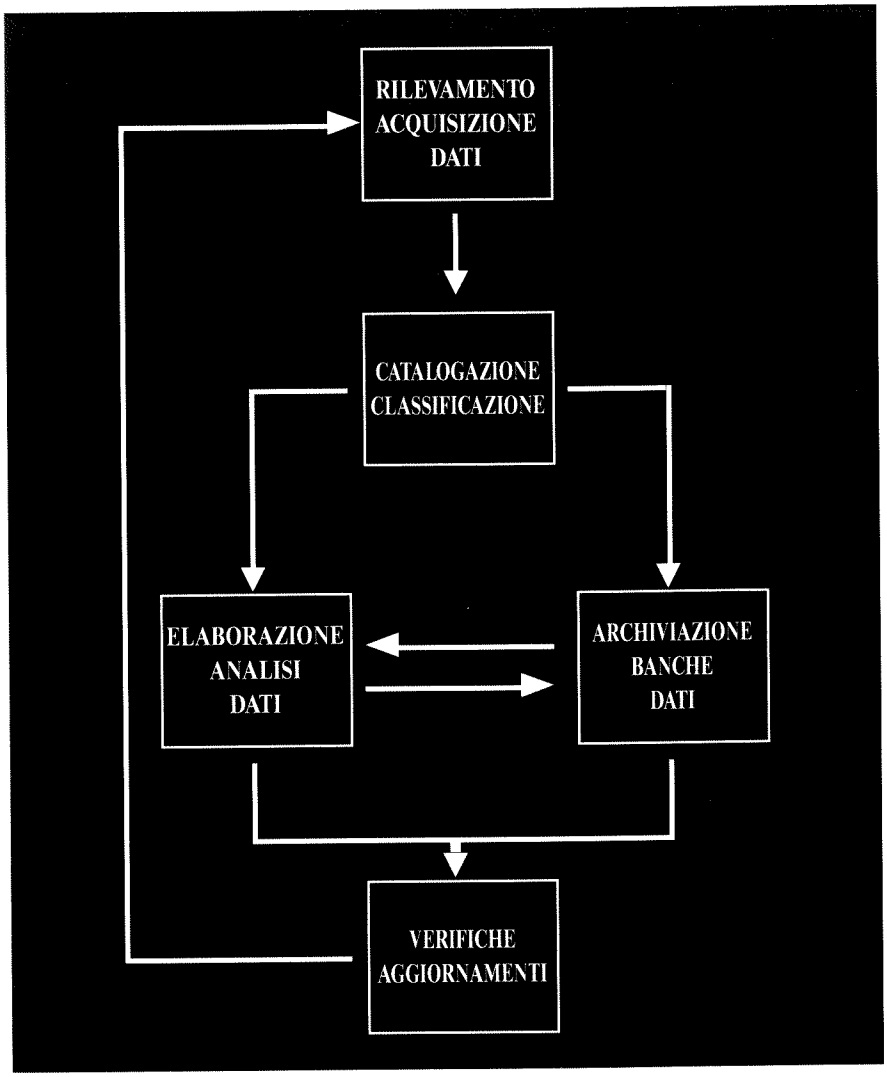


Fig. 5 - Schema logico delle attività fondamentali di un Sistema Informativo Territoriale.
Di particolare rilevanza le attività di "Verifica e Aggiornamento": è infatti di fondamentale importanza che un Sistema Informativo Territoriale tratti informazione "attuale", affinchè non scada in funzionalità ed efficienza.

Telerilevamento terrestre

Con questo termine si indicano attività di rilievo mediante sensori per la raccolta automatizzata in continuo di dati e misure - fisiche e/o chimiche - di vario genere (qualità dell'aria, qualità dell'acqua, parametri meteorologici etc), riuniti in centraline a terra generalmente organizzate in reti di monitoraggio.
La trasmissione delle informazioni ai centri di raccolta ed elaborazione viene effettuata mediante ponti radio o via cavo (linea telefonica), oppure utilizzando unità di trasporto (in pratica supporti magnetici di memorizzazione a piccola capacità).
Diversi sono i campi in cui vengono impiegate reti di monitoraggio: agrometereologia, controllo fitosanitario, valutazione qualità aria (inquinanti atmosferici) e qualità acque (inquinanti idrici, piogge acide), controllo fenomeni di eutrofizzazione, raccolta dati idrologici, prevenzione degli incendi boschivi etc. Queste reti sovente sono finalizzate non solo alla raccolta di informazioni, ma soprattutto alla realizzazione di particolari servizi di allerta per prevenzione e pronto intervento (ad esempio, prevenzione incendi boschivi, inquinamento urbano...).

Telerilevamento atmosferico

In quest'ambito ricadono le attività classiche di telerilevamento effettuato mediante rilievi aerofotogrammetrici.
Il telerilevamento aereo viene, già da tempo, ampiamente utilizzato nella produzione di cartografie di base (fotorestituzione) e nella formazione di quadri conoscitivi preliminari finalizzati alla realizzazione di inventari forestali e agricoli.
Studi e restituzioni dell'area di indagine prestabilita, effettuati tramite foto aeree, consentono, infatti, di "stratificare" al meglio le diverse categorie inventariali da rilevare. Ciò viene generalmente operato sulla base di una fotointerpretazione dei punti nodali di un opportuno reticolo inventariale, rispondente cioè alle finalità, alla accuratezza e ai caratteri dimensionali dell'inventario stesso (risorse tecniche ed economiche disponibili, ettari di superficie inventariata). Più recente è l'utilizzo di tecniche di telerilevamento aereo mediante foto all'infrarosso, che stanno trovando sempre più vasto impiego in indagini fitosanitarie, agronomiche o, più semplicemente, inerenti l'uso del suolo.

Sempre al telerilevamento atmosferico fanno poi capo tecnologie basate sull'utilizzo di "sensori attivi" a microonde. (Le foto sono il risultato di "sensori passivi": le macchine fotografiche non fanno altro che catturare le onde elettromagnetiche emesse nel campo del visibile e fissarle su un substrato sensibile). Si tratta in pratica di radar montati su aereomobile, che consentono rapidi rilievi territoriali. In particolare i sensori tipo SAR (sensori ad apertura sintetica), a tutt'oggi di utilizzo piuttosto sperimentale, hanno creato notevoli aspettative grazie alle molteplici potenziali applicazioni civili. Tali sensori, che forniscono direttamente dati in forma digitale, presentano gran parte dei vantaggi dei sensori satellitari (vedi in seguito: telerilevamento spaziale), ma necessitano di una pesante fase di pre-elaborazione (e conseguentemente di elaboratori con notevole potenza di calcolo), che di fatto li rende ancora di difficile diffusione. Attuale, infine, è l'utilizzo di scanner multispettrali e di telecamere per rilievo all'infrarosso. Anche questi strumenti, di tipo "passivo", risultano però ancora in fase di sperimentazione.

Telerilevamento spaziale

Si parla di telerilevamento spaziale quando la raccolta di informazioni territoriali e ambientali avviene tramite sensori piazzati su piattaforme satellitarie.
Il telerilevamento da satellite si basa sul rilievo delle radiazioni riflesse dagli oggetti prenseti sulla superficie terrestre; in sostanza questa tecnica poggia sull'analisi delle cosidette "risposte spettrali" (anche questa è quindi una tecnica "passiva").
I sensori installati a bordo dei satelliti territoriali sono infatti in grado di rilevare queste risposte, tradurle in forma numerica e trasmetterle a terra, dove, una volta raccolte e archiviate, vengono riconvertite in forma analogica (in altre parole, in immagini).
L'impiego corretto (cioè secondo modalità operative e finalità congrue) di questa tecnologia di indagine territoriale consente notevoli vantaggi tecnici ed economici, tra i quali si possono evidenziare come principali quelli seguenti.

Costi
Il telerilevamento a mezzo satellite consente di impostare e realizzare attività di rilevamento ed aggiornamento dati, a costi alquanto contenuti.
Impegno finanziario iniziale a parte (acquisizione hardware e software necessari), per altro sempre più contenuto grazie alla diffusione di strumenti per il trattamento immagini (Image Processing) basati su workstation (Personal Computer) DOS e Unix a prezzi sempre meno onerosi, i costi successivi di gestione (acquisizione ed elaborazione immagine) risultano irrisori. Ad esempio i costi per l'aggiornamento di una cartografia tematica sull'uso del suolo, ammontano attualmente a circa 60-350 lire/ha di superficie monitorata, a seconda del sensore utilizzato.

Multifunzionalità
L'acquisizione di una stazione per lo studio di immagini da satellite non è un investimento "unidirezionale", in quanto i temi indagabili con le medesime tecnologie sono, come vedremo, molteplici.

Risoluzione
Sensori, ad esempio, montati a bordo dei satelliti Landsat e Spot, consentono risoluzioni al suolo rispettivamente di 30×30 m e 10×10 m. Ciò significa che i relativi "pixel" (unità minima di informazione: in pratica il punto base che compone l'immagine, un po' come la grana delle normali foto) riguardano una superficie a terra corrispondente a 900 o 100 mq. Tali livelli di precisione consentono di produrre cartografia accurata in scala 1:50.000 o 1:25.000.

Oggettività nell'interpretazione
L'interpretazione dell'immagine viene infatti operata da un elaboratore elettronico, sulla base di sistemi di classificazione automaticamente applicati.

Ripetitività
I rilievi a mezzo satellite possono essere operati a periodi relativamente brevi (2 passaggi/giorno, nel caso dei satelliti NOAA, 9-10 giorni nel caso dei satelliti Sojuzkarta, fino a 16 e 26 giorni per, rispettivamente, Landsat e Spot), il che consente lo studio continuato nel tempo dell'evoluzione di particolari fenomeni/eventi (ad esempio, lo stato fitosanitario dei boschi di un dato territorio, la valutazione dinamica di inquinamenti marini...).

Ricchezza di bande
Mentre le normali foto aeree consentono l'analisi delle sole risposte spettrali comprese nel campo del visibile, i sensori da satellite consentono riprese in altre bande quali, ad esempio, l'infrarosso, assai utile per l'individuazione d'inquinamenti idrici e fughe di calore (in proposito si ricordi i rilievi effettuati tramite Spot dell'incidente al reattore nucleare di Chernobil).

Per quello che concerne le possibili applicazioni, esse, come già detto, sono molteplici; qui ricordiamo: la classificazione dell'uso del suolo e della vegetazione, il rilievo fitosanitario e di fenomeni d'inquinamento ed eutrofizzazione marina, la ricerca di sorgenti sottomarine e termali, lo studio dello stato idrico del terreno a fini agronomici, il riconoscimento di paleoalvei fluviali, l'analisi di dissesti potenziali e/o in atto etc.

B) Livello interpretativo

Al livello interpretativo fanno capo essenzialmente due tipi di attività a forte connotazione informatica, e precisamente:

— l'organizzazione e l'archiviazione dei dati;
— l'elaborazione dei dati.

Quest'ultima può essere ulteriormente distinta in

— elaborazione geometrica;
— elaborazione logica e statistica;
— elaborazione previsionale.

L'organizzazione dei dati memorizzati riveste particolare importanza in quanto da essa deriva direttamente la capacità del sistema di realizzare relazioni ed estrazioni e quindi, in definitiva, di attuare tutte quelle operazioni in grado di fare evolvere i dati in informazione.

Generalmente, anzi in pratica sempre, la struttura logica degli archivi di un S.I.T. rispecchia fedelmente gli ambiti operativi di cui il sistema si compone: ad un tema, o più genericamente ad una attività di rilievo, corrisponde direttamente una determinata base di dati.
Ciò consente di correlare operativamente in modo agevole le attività di conoscenza (attività di rilievo del dato sul territorio) con quelle relative alla gestione del sistema stesso.

L'*elaborazione logica e statistica* dei dati riguarda tutta la programmazione atta a produrre informazione (statistica, topologica etc) a vario grado di dettaglio, in relazione a determinate entità (oggetti) o spazi.

L'*elaborazione previsionale* si avvale di algoritmi fondati, generalmente, su modelli di simulazione, a carattere deterministico o stocastico, che consentono la definizione di quadri evolutivi circa il fenomeno/evento in esame.

Infine, l'*elaborazione geometrica* riguarda essenzialmente la verifica di congruenza spaziale, l'analisi dei rapporti dimensionali territoriali e la generazione di modelli geomorfologici, talora tematicizzati, a partire da dati topografici di base (rilevati direttamente in campagna o digitalizzati) per la produzione di D.T.M. (Modelli Digitali del Terreno). La realizzazione di D.T.M. risulta inoltre utile per un analisi corretta delle immagini da satellite (classificazione dei pixel); sulla base dei D.T.M. è infatti possibile apportare opportune correzioni ai dati radiometrici, in modo che tengano conto delle differenti incidenze sul terreno delle radiazioni riflesse, dovute alla morfologia del territorio.
Col termine elaborazione geometrica, si intendono inoltre, genericamente, anche procedure relative all''orientamento'' e al ''raddrizzamento'' di immagini (sia aeree che da satellite), per la produzione di planimetrie o di sovrapposizioni delle stesse con cartografia di base o tematica.

C) Livello informativo

Ultimo, ma non certo per importanza, il livello informativo vero e proprio, cioè l'insieme di tutte quelle attività strumentali e operative, conseguenti alla gestione dell'intero Sistema Informativo.
Dette attività si risolvono principalmente nella realizzazione di *prodotti e servizi.*

I *prodotti* sono documenti informativi a carattere alfanumerico o grafico, e corrispondono genericamente a:

— tavole e tabelle
— grafici e diagrammi
— cartografie tematiche
— immagini classificate
— D.T.M.
— sezioni
— etc

Si tratta in pratica di tutti gli strumenti necessari per la conoscenza territoriale di dettaglio e di massima.
Possono infatti riportare dati originari (puntuali) o i risultati di elaborazioni relative a superfici via via più ampie (ad esempio: Comuni, Provincie, Regioni etc.).

I *servizi* invece sono tutte quelle attività riguardanti:

— le azioni di divulgazione dei prodotti informativi ad enti territoriali interessati (Ministeri, Regioni, Provincie, Comuni etc), organi di informazione, istituti di ricerca etc, eventualmente tramite strumenti telematici (ad esempio il Videotel);
— le azioni riguardanti il controllo continuo del territorio per costituire sistemi di allerta ambientale (prevenzione incendi, monitoraggio inquinanti, stato fitosanitario etc);
— la realizzazione di ambiti informativi finalizzati alle valutazioni di impatto ambientale.

Allo stato attuale, sotto il profilo strettamente informatico, si sta assistendo alla progettazione e allo sviluppo di appositi ambienti multimediali, atti a semplificare il rapporto utente finale-sistema sia nella produzione che nella diffusione di servizi, e allo sviluppo di sistemi esperti indirizzati alla gestione di processi decisionali territoriali.

4. Realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale

Dalla breve descrizione che ne abbiamo fatto, risulta evidente come un Sistema Informativo Territoriale Integrato costituisca un apparato alquanto complesso.
Va da sè che la complessità cresce quanto più il sistema informativo è finalizzato alla descrizione di entità territoriali sempre più vaste (dal Comune, alla Regione, alla Nazione) e con la pluralità dei temi.
A tale proposito va specificato che la completa realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale Integrato per la descrizione di un territorio pur di dimensioni relativamente piccole (ad esempio un Comune), richiede tempi lunghi (generalmente diversi anni) ed a tal motivo esso viene normalmente realizzato secondo una ''architettura modulare''.
Un modulo (o sottosistema) consiste in una parte costitutiva del sistema generalmente atta ad indagare e conoscere un determinato tema (ad esempio: sottosistema per l'analisi dell'aria), e presenta caratteri di esaustività e funzionalità sotto tutti gli aspetti di progettazione e utilizzo.
Per questa ragione, la costruzione di un Sistema Informativo concepito in più sottosistemi comporta il grande vantaggio di permettere in tempi brevi un uso parziale del sistema stesso, senza dover attendere il suo completamento.
Ciò inoltre facilita:

— la pianificazione nel tempo della raccolta dei dati (o meglio delle attività relative al livello conoscitivo);
— l'individuazione e la verifica delle competenze gestionali;
— la pianificazione nel tempo dello sviluppo del Sistema Informativo, secondo i criteri di priorità stabiliti di volta in volta dall'utenza;
— la possibile implementazione futura del Sistema Informativo mediante la creazione di nuovi moduli, senza dover operare una revisione radicale, nè tanto meno stravolgimenti strutturali;

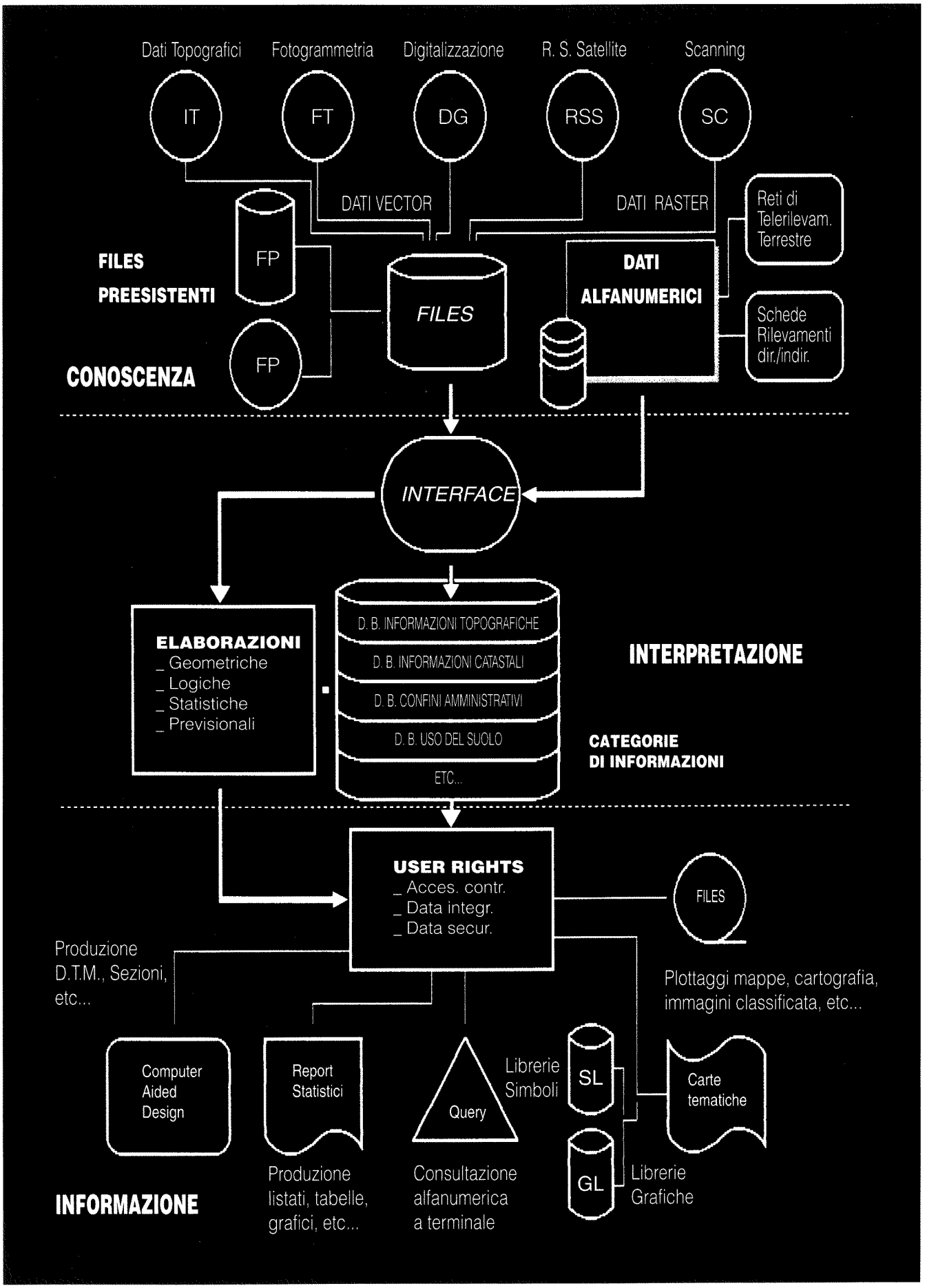


Fig. 6 - Struttura di un Sistema Informativo Territoriale integrato, secondo i tre livelli operativi di organizzazione: conoscitivo, interpretativo e informatico.

— l'analisi e la definizione dei budget, compatibilmente alle risorse finanziarie di volta in volta disponibili.

Va comunque detto che risulta molto difficile poter definire a priori lo sviluppo di questi sistemi: la necessità di rispondere via via a nuove esigenze di pianificazione dovute all'emergenza di nuove problematiche ambientali o la possibilità di integrare nuove metodologie e tecnologie d'indagine, rende la filogenesi di questi "organismi informatici", certamente più complessa di quella dei normali sistemi EDP.
Inoltre, l'informatica territoriale presenta ancora grossi problemi formali inerenti lo scambio e l'elaborazione d'informazione ambientale di diversa provenienza: i dati territoriali-ambientali, a differenza di quelli amministrativo-finanziari (ampiamente trattati fino ad oggi dall'informatica distribuita) non sono "neutri"; essi non possono essere disgiunti dalla loro origine (coordinate geografiche di riferimento, data di rilievo, grado di elaborazione, finalità originaria di prelievo) e, soprattutto, dalla loro qualità (tecnologia e/o metodologia di rilievo, validità temporale, certificazione etc). Anzi, "origine e qualità" sono elementi essenziali per determinarne la fondatezza ed il possibile utilizzo. Questi problemi, spesso sottovalutati, sono superabili solo a patto che si arrivi a chiare ed univoche standardizzazioni.
Anche a tal motivo, oltre che per la peculiarità delle problematiche trattate, si intravede sempre più la necessità, sia a livello progettuale che operativo, di figure professionali sistemistiche specificatamente preparate.

Bibliografia

[1] Abrami, *"Progettazione Ambientale - una introduzione"*, CLUP, Milano, 1988.

[2] Beltrami, *"Models for public systems analysis"*, Academic Press, 1977.

[3] Bettini, *"L'analisi ambientale"*, CLUP, Milano, 1990.

[4] Biasini, Galetto, Muscio, Rigamonti, *"La cartografia e i sistemi informativi per il governo del territorio"*, IASM, Ed. Franco Angeli, Milano, 1988.

[5] FAO, *"A framework for Land Evaluation"*, Soil Bullettin, n. 32, Roma, 1976.

[6] Fierotti, *"La valutazione del territorio"*, Atti del Convegno "Metodologie di rilevamento e rappresentazione cartografica per la valutazione del territorio", Palermo, 12-15 ottobre 1982.

[7] Lillesand, Kiefn, *"Remote Sensing and Image Interpretation"*, Wiley, 1979.

[8] Lyle, von Wodkte, *"An Information System for Environmental Planning"*, Journal of the American Institute of Planners, 394-413, 1974.

[9] Regione Veneto, *"Valutazione comparata e guida all'uso integrato dei dati telerilevati dai satelliti Landsat (MSS e TM) e Spot (HRV)"*, Regione Veneto Giunta Regionale Assessorato Agricoltura e Foreste Dip. Foreste, Padova, 1986.

[10] Swain, Davis, *"Remote Sensing: the quantitative approach"*, Mc Graw-Hill, 1979.

[11] AA.VV., *"A guide to models in governamental planning and operation"*, U.S. Environmental Protection Agency, 1974.

[12] AA.VV., *"Inquinamento atmosferico"*, Le Scienze Quaderni, n. 58, Milano, 1991.

[13] AA.VV., *"Informatica e modelli per l'ambiente e il territorio"*, CLUP, Milano, 1986.

[14] AA.VV., *"Analisi e gestione dei sistemi ambientali"*, GRAGSA, CLUP, Milano, 1979.

Spedizione in abbonamento postale, Gruppo IV, 2° semestre.
Pubblicità Inferiore al 70%.
N. 44, Agosto - Dicembre 1992

TAKE PERÇUE
P.P. Tassa riscossa PT Piacenza F. Italia